

Tiedotus
Report

154

PERTTI HEINONEN

MANUAALISEN VESISTÖTARKKAILUN KEHITTÄMISESTÄ

Liitteinä

Insinööritoimisto Maa ja Vesi Oy: Vesistötarkkailun kehittäminen
Pohjois-Suomen Vesitutkimustoimisto: Vesien tilan tarkkailutulosten hyväksikäytön mallikehitelmä
pienille jokivesistöille.

VESIHALLITUKSEN TIEDOTUS N:O 154
MANUAALISEN VESISTÖTARKKAILUN KEHITTÄMISESTÄ

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	5
2.	HYDROLOGISET TEKIJÄT	9
2.1	Virtaamat	9
2.2	Veden lämpötila ja jääpeitteen kesto aika	16
3.	TARKKAILUN ALUEELLISUUS	20
4.	MITATTAVIEN SUUREIDEN VALINTA	21
5.	TULOSTEN KÄSITTELY	25
5.1	Päijänteen tutkimustulosten käsittely	25
5.2	Pyhäjoen vesistö	28
6.	YHTEENVETO	30
7.	KIRJALLISUUS	32

LIITTEET

1.	INSINÖÖRITOIMISTO MAA JA VESI OY: VESISTÖTARKKAILUN KEHITTÄMINEN	33
2.	POHJOIS-SUOMEN VESITUTKIMUSTOIMISTO: VESIEN TILAN TARKKAILUTULOSTEN HYVÄSIKÄYTÖN MALLIKEHITELMÄ PIENILLE JOKIVESISTÖILLE	91

1. J O H D A N T O

Kansainvälisen Jälleenrakennus- ja Kehityspankin Suomen valtiolle myöntämän vesiensuojelulainan eräänä ehtona oli laajan vesiensuojelun eri lähtökohtia selvittävän tutkimuksen suorittaminen. Eräs keskeinen osa tässä Maailmanpankin laatimassa tutkimusohjelmassa on vesistöjen tilan ja sen kehittymisen seurantamenetelmien selvittäminen. Ohjelma jakautuu tältä osin kahteen päälinjaan, joista toinen käsittelee nykyisin käytössä olevan, manuaaliseen näytteenottoon perustuvan vesien tilan arvioinnin kehittämistä ja toinen automaation hyväksikäyttömahdollisuuksien selvittämistä.

Vesihallitukseen Maailmanpankin tutkimusohjelmaa toteuttamaan perustetussa KVT-projektissa veden laadun automaattista tarkkailua on selvitetty Kokemäenjoella yhdessä Oy Nokia Ab:n kanssa (ns. VESKU-projekti), Kymijoenjoella sekä kahdella siirrettävällä mittausasemalla useilla eri vesistöalueilla. Näiden tutkimusten tulokset KVT-projekti raportoi erillisenä selvityksenä (Kohonen ym 1978).

Manuaalisen tarkkailun kehittämiseksi on projektissa teetetty kaksi konsulttityötä:

- Insinööritoimisto Maa ja Vesi Oy: Vesistötarkkailun kehittäminen (Selvityksen ovat laatineet MML Jyrki Wartiovaara ja DI Pentti Lahhti)
- Pohjois-Suomen Vesitutkimustoimisto: Vesien tilan tarkkailutulosten hyväksikäytön mallikehiteelmä pienille jokivesistöille (selvityksen ovat laatineet MMK Eero Meskus, FK Pekka Antila ja FK Erkki Alasaarela)

Näiden lisäksi on projekti ollut mukana kehittämässä Päijänteen tarkkailutulosten hyväksikäyttöä. Manuaalisen vesistötarkkailun kehittämisajatuksia on syntynyt myös selvitetessä ekologisten mallien hyväksikäyttömahdollisuuksia. Lyhyen vesistöjen nykyistä tarkkailumennettelyä selvittävän osan jälkeen on tässä työssä tarkasteltu eräitä keskeisiä vesistötarkkailun kehittämiskohteita. Edellä mainitut konsulttityöt täydentävät tämän tarkastelun yhdeksi kokonaisuudeksi.

Vesistö- ja kuormitustarkkailun tarkoituksena on tuottaa tietoa vesistöistä sekä jätevesien johtamisesta ja niiden vaikutuksista vesistöissä. Tätä vesistö- ja kuormitustarkkailun tuottamaa tietoa voidaan käyttää vesistöjen käytön ja sen suunnittelun sekä vesiensuojelun tarpeisiin.

Jätevesien johtamiseen ja jätevesien vaikutusten selvittämiseen liittyvä tarkkailutoiminta voidaan jakaa käyttötarkkailuun, kuormitustarkkailuun ja vesistötarkkailuun.

Käyttötarkkailulla hankitaan tietoa vesistöä kuormittavan laitoksen toiminnasta kyseisen laitoksen prosessien ohjausta varten.

Kuormitustarkkailulla tarkoitetaan jätevesiä tuottavassa laitoksessa tapahtuvaa vesistöön joutuvien jätevesien määrän ja laadun seurantaa. Tarkoituksena voi olla annettujen jätevesiä koskevien määräysten valvonta tai kuormitustietojen hankinta jätevesien vaikutusten selvittämistä tai kuormittavan laitoksen omien prosessien ohjausta varten.

Vesistötarkkailulla tarkoitetaan vesistöstä otettavien näytteiden perusteella tapahtuvaa vesistön tilan seurantaa. Tarkoituksena on hankkia tietoja kuormituksen vaikutuksista vesistössä.

Vesistön tilan tarkkailu voi periaatteessa käsittää kaikki mahdolliset vesistön ominaisuuksia kuvaavat mittaukset: hydrologiset, fysikaaliset, kemialliset ja biologiset. Tarkkailun perusteella saatua kuvaa vesistöä voidaan puolestaan käyttää palvelemaan kaikkia vesistön käyttömuotoja. Käytännössä vesien tilaa tarkkaillaan lähinnä hydrologisten ja fysikaalis-kemiallisten menetelmien avulla, ja yleensä tutkimukset liittyvät jätevesien vaikutuksiin vesistöissä. Usein on vaikea erottaa vesistötarkkailua ja vesistötutkimusta toisistaan, sillä vesistötarkkailussa saatetaan käyttää hyväksi perustutkimuksen tuloksia.

Vesistön tilan tarkkailu voidaan luokitella tarkkailutavoitteen perusteella seuraavasti:

- Perus- ja trenditietojen hankinta
- Jätevesien johtamiseen liittyvä tarkkailu

- Vedenhankintaan liittyvä tarkkailu
- Muita vesien käyttömuotoja - esimerkiksi kalastus ja virkistyskäyttö
 - palvelevat tarkkailututkimukset.

Jätevesien johtamiseen liittyvä vesistö- ja kuormitustarkkailu voidaan edelleen luokitella tarkkailun oikeudellisen perusteen mukaan velvoitetarkkailuun ja ilman velvoitetta tapahtuvaan tarkkailuun. Velvoitetarkkailulla tarkoitetaan sitä tarkkailua, jota jätevesien johtamiseen liittyvässä lupapäätöksessä tai vastaavassa on edellytetty.

Systemaattinen vesistöjen tilan tutkimus alkoi Suomessa 1960-luvun alussa, jolloin maataloushallitus ja sen alaiset maanviljelysinsinööripiirit aloittivat useiden ohjelmien puitteissa maamme vesistöjen tilan selvitystyön. Aikaisemmin oli vesistötutkimus rajoittunut yksittäisiin selvityksiin ja korkeakoulujen piirissä tapahtuneeseen tieteelliseen perustutkimukseen.

Vuonna 1962 voimaan tulleen vesiasetuksen mukaan jätevesien johtamislupaa hakeneet joutuivat hankkimaan tiedot vesistöjen veden laadusta niiltä alueilta, joihin suunniteltu hanke tulisi vaikuttamaan. Vesistöjen tutkimustoimintaa lisäsivät myös vesioikeuksien myöntämät jätevesien johtamisluvat, joissa luvansaaja useimmiten velvoitettiin seuraamaan vesiviranomaisen hyväksymällä tavalla vesistön tilaa.

Vesistötutkimuksen tason takaamiseksi luotiin maahamme asetusteitse ns. julkisen valvonnan alaisten vesitutkimuslaitosten järjestelmä. Asetuksen mukaan vesitutkimuslaitos voidaan hyväksyä julkisen valvonnan alaiseksi, jos sillä henkilökuntansa ja välineistönsä puolesta on tutkimustehtäviään suorittaessaan mahdollisuus soveltaa tieteelliselle pohjalle rakentuvia ja kulloinkin asianmukaisiksi katsottavia tutkimusmenetelmiä.

Samaan aikaan vesiviranomaisen toiminnan kehittymisen kanssa alkoi myös maahan luodun vapaaehtoisen vesiensuojeluorganisaation - vesiensuojeluyhdistysten - vesistöjen tilaa koskeva tutkimustyö. Merialueella Merentutkimuslaitos oli tehnyt tutkimusta jo vuosikymmeniä, mutta varsinaiset likaantumisselvitykset alkoivat vasta 1960-luvulla yhdessä vesiviranomaisen kanssa.

Nykyisin keskeisimmän tutkimusorganisaation muodostaa eri keskusvirastojen yksiköistä vuonna 1970 muodostettu vesihallitus ja sen piiriorganisaatio, vesipiirien vesitoimistot. Edellä mainittujen lisäksi vesistötutkimusta harjoitetaan eri yliopistojen ja korkeakoulujen, tutkimuslaitosten ja yksityisten yritysten toimesta. Seuraavassa tarkastellaan vesihallituksen organisoimaa vesistöjen tutkimusta.

Hydrologista tutkimusta ja havaintotoimintaa maassamme on tehty jo 1800-luvun puolivälistä lähtien. Organisoitu tutkimus alkoi vuonna 1908, jolloin perustettiin hydrografinen toimisto. Hydrologisen havaintotoiminnan perustan muodostavat nykyisin vesihallituksen hydrologian toimiston kiinteiden havaintoasemien verkostot. Vuonna 1978 tehtiin vedenkorkeushavainnot n. 600 asemalla, virtaaman havaintopaikkoja on 330 ja sadeasemia 240. Hydrologiseen havaintotoimintaan liittyy myös edellisiä suppeampia verkostoja haihdunnan, pohja- ja maavesien, lumipeitteen vesiaron, jäänpaksuuden, roudan, veden lämpötilan sekä sadeveden kemiallisten ominaisuuksien seuraamiseksi. Vesihallituksessa suoritettavan varsinaisen hydrologisen tutkimustoiminnan painopiste on ollut järvihaihdunta- sekä virtaustutkimuksissa.

Vesistöjen veden laadun seuraamiseksi vesihallitus suorittaa valtakunnallista virtahavaintopaikkatutkimusta (vuonna 1978 188 virtahavaintopaikkaa), järvisyvännetutkimusta (160 havaintopaikkaa), pieniä valuma-alueita koskevaa ns mittapatotutkimusta (34 havaintopaikkaa), meri- ja rannikkoalueiden tilan seurantatutkimusta (28 havaintopaikkaa) ja rajavesien laadun seurantaa. Lisäksi vesihallituksessa on käynnissä monia erityisselvityksiä. Vesitutkimustoiminnan laajuutta kuvaa se, että vesihallituksen ja sen piiriorganisaation toimesta tutkittiin vuonna 1976 yhteensä noin 8 500 havaintopaikasta yli 45 000 näytettä. Laboratorioissa tehtiin noin 400 000 kemiallista ja fysikaalista määritystä.

Nykyisen vesilainsäädännön mukaan vesistön kuormittaja tarvitsee jätevesien johtamiseen yleensä luvan vesioikeudelta. Vesiasetuksen mukaan luvan hakijan tulee liittää lupahakemukseen mm. selvitys vesistön veden laadusta ja arvio jäteveden johtamisen

vaikutuksista vesistössä sekä kalataloutta koskevat selvitykset. Yleinen käytäntö on, että nämä selvitykset tehdään viranomaisten hyväksymän ohjelman mukaan ja ne suorittaa julkisen valvonnan alainen vesitutkimuslaitos.

Vesistöjen ja jäteveden tarkkailu perustuu joko vesioikeuksien määrittämiin tai ennakkoilmoituslausunnoissa asetettuihin velvoitteisiin. Näillä valvotaan asetettuja kuormitusrajoja sekä kuormitetun vesistön tilaa. Vuoden 1976 lopussa velvoitetarkkailujen määrä oli noin 1 125. Näistä noin puolet oli asumajätevevettä koskevia ja toinen puoli teollisuuslaitoksia tms. (kalanviljelylaitokset, öljyvarastot) koskevia. Likaajia, joilta v. 1976 puuttui varsinainen tarkkailuvelvoite, mutta jotka suorittivat tarkkailua vapaaehtoisesti valvontaviranomaisen kehotuksesta oli lisäksi noin 60.

Seuraavassa tarkastellaan niitä manuaalisen vesistötarkkailun osia, joissa ilmeisesti tarvittaisiin suurimmat muutokset nykyiseen käytäntöön. Näistä otetaan luvussa 2 esille hydrologiset, tekijät, luvussa 3 tarkkailujen alueellisuus ja luvussa 4 mitattavien suureiden valinta. Tulosten hyödyntämistä käsittelevän viidennen luvun kohdalla esitetään Päijänteen tutkimustulosten käsittelytapa sekä ajatuksia pienehköjen jokivesistöjen seurannaksi esimerkkinä Pyhäjoen vesistö.

2. H Y D R O L O G I S E T T E K I J Ä T

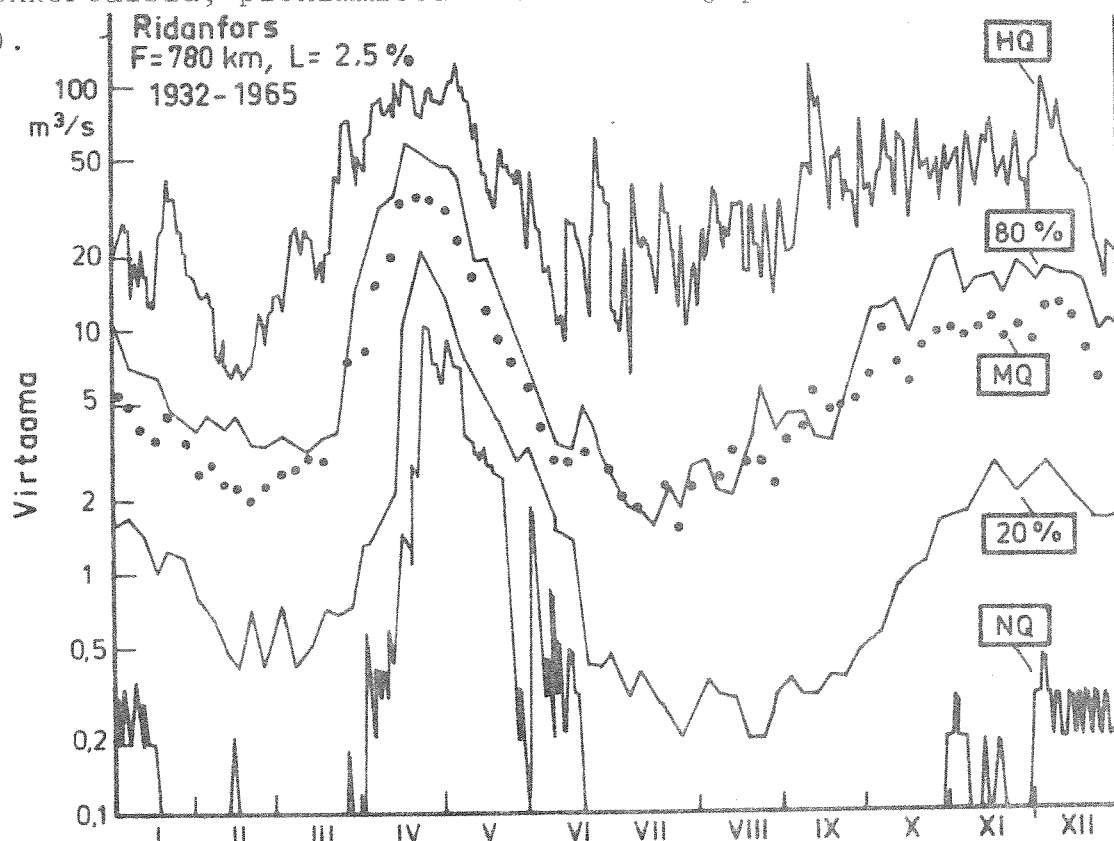
Vesistötarkkailulla ymmärretään nykyisin hyvin yksipuolisesti veden laatuun liittyviä tutkimuksia. On olemassa runsaasti esimerkkejä tärkeistäkin tutkimuksista, jotka ovat kohdistuneet ainoastaan veden laatua kuvaaviin suureisiin eikä hydrologisia ominaisuuksia ja niiden vaihteluja ole edes käytetty laatueroja kuvaavina selittäjinä. Seuraavassa on käsitelty esimerkein vesimäärän vaikutusta veden laatuun sekä talven pituuden ja sääolojen vaikutusta veden laadun muutoksiin.

2.1 VIRTAAMAT

Veden laatuhavainnointi on tapahtunut toistaiseksi lähes täydellisesti erillään veden määrään tai yleensä hydrologiaan liitty-

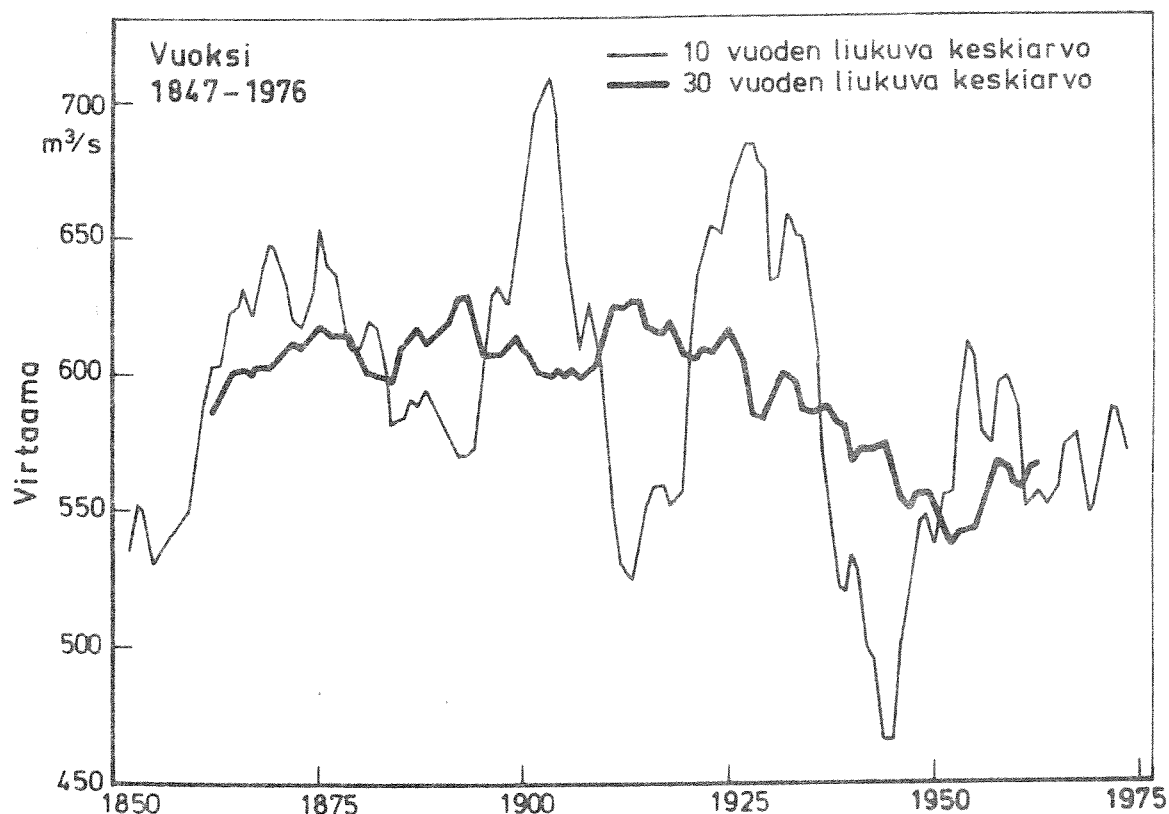
vistä selvityksistä. Eräät esimerkit osoittavat kuitenkin erittäin suuren riippuvuuden veden laadun ja virtaaman välillä varsinkin jokimaisissa vähäjärvisissä vesistöissä. Vesimäärän lisääntyminen lisää huuhtoutuvien aineiden määriä ja alkuvaiheessa myös pitoisuuksia varsinkin orgaanisten yhdisteiden osalta. Toisaalta virtaaman kasvu lisää myös jätevesien laimenemista, mikä mitattavaan laatusuureeseen vaikuttaa juuri päinvastaisesti. Äärimmäiset esimerkit löytyvät kirjallisuudesta Alppien alueelta, missä virtaamavaihtelut ovat lumen äkillisestä sulamisesta johtuen yleensä erittäin suuria. Meybeck (1972 ja 1977) on esittänyt Rhone-joen aineiston pohjalta, että kiintoainepitoisuus voi muuttua virtaaman funktiona jopa satakertaiseksi (virtaaman muuttuessa vain viisinkertaiseksi). Korrelaatio on positiivinen. Sensijaan suolapitoisuudessa Meybeck (1977) osoittaa negatiivisen korrelaation virtaamaan nähden.

Suomessa veden laatuhavainnointia huomattavasti pitempään jatkuneen vesimäärän mittaamisen tuloksista tiedämme kuinka suuria ja arvaamattomia vaihteluja luonnostaan eri vuosien välillä vesistöjen virtaamissa saattaa esiintyä. Jokimaisissa, vähäjärvisissä vesistöissä saattavat virtaamavaihtelut eri vuosien välillä olla kymmenkertaisia, pienimmissä vesistöissä jopa satakertaisia (kuva 1).



Kuva 1. Virtaamavaihtelut Mäntsälänjoessa vuosina 1932-1965 (Hyvärinen 1977).

Vuotuisen vaihtelun lisäksi esiintyy vesimäärissä jopa kymmenien vuosien jaksottaisuutta. Kuvassa 2 on esitetty Vuoksen virtaaman vaihtelut havaintojaksolta 1874-1976 liukuvinä kymmenen vuoden ja 30 vuoden keskiarvoina (Hyvärinen 1977). Esiintyvät vaihtelut ovat selviä heijastumia ilmasto-olojen pitkäaikaisista muutoksista.



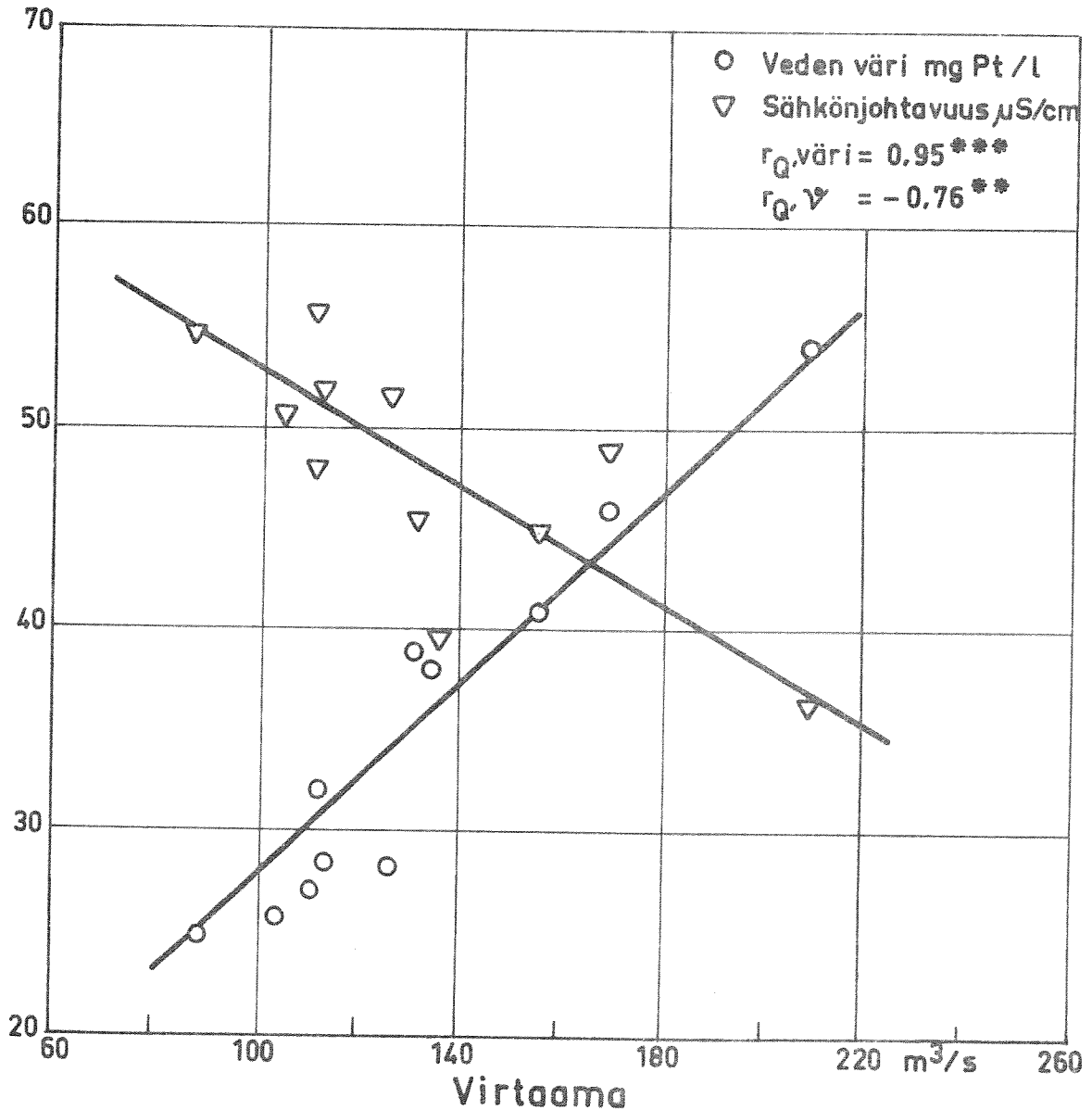
Kuva 2. Vuoksen virtaamavaihtelut vuosina 1874-1976 (Hyvärinen 1977).

Virtaaman vaikutuksen selvittämiseksi pyrittiin tässä tutkimuksessa tarkastelemaan sellaista vesistöä, joka on lähes kuormittamaton, mutta jossa virtaamavaihtelut ovat suuria. Lisäksi vesistöstä tuli olla runsaasti luotettavaa vedenlaatuaineistoa. Tutkimuskohteeksi valittiin Kemijoen vesistö, josta laskettiin yhdeksän vuoden ajanjaksolta (1966-1974) eräitä korrelaatioita virtaaman ja veden laatua kuvaavien keskeisten suureiden välille. Aineisto, joka on saatu Kemijoen vesien-suojeluyhdistys ry:ltä, koostuu kunkin veden laatua kuvaavan suureen kohdalta kuukausikeskiarvoista.

Koko Kemijoen osalta saatiin seuraavat korrelaatiot:

virtaama: veden väri	$c = 0,655^{***}$ ($n = 108$)
virtaama: KHT	$c = 0,559^{***}$ ($n = 108$)
virtaama: sähkönjohtavuus	$c = -0,493^{***}$ ($n = 108$)

Tilastollisesti erittäin merkitsevät korrelaatiot osoittavat vesimäärän hallitsevaa vaikutusta veden laatuun tällä lähes luonnontilaisella vesistöalueella. Kuvassa 3 on tätä riippuvuutta pyritty havainnollistamaan käyttämällä Kittilän kohdalta Ounasjoesta saatua tulospohjana. Mainittakoon, että Ounasjoen alin virtaama (NQ) on ollut $22 \text{ m}^3/\text{s}$ ja ylin virtaama (HQ) $1950 \text{ m}^3/\text{s}$. Vuosikeskiarvoissa nämä erot luonnollisesti tasoittuvat.

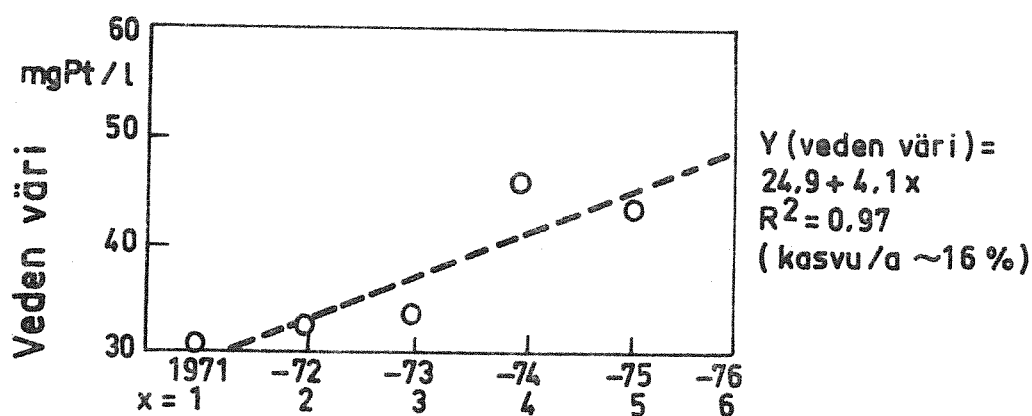


Kuva 3. Veden värin ja sähkönjohtavuuden riippuminen veden virtaamasta Ounasjoessa vuosina 1965-1975.

Vastaavanlainen, useampaan määrittelyyn kohdistuva tarkastelu on suoritettu jo aiemmin vesihallituksen aineistosta (Wartiovaara 1975). Sen mukaan vesistöissä virtaaman yhteydet veden suolapitoisuuteen (sähkönjohtavuuteen) ja happea kuluttavien aineiden määrään ovat yleisiä ja keskenään vastakkaissuuntaisia. Tarkastelu on tällöin tapahtunut ottamatta lähemmin huomioon vesistöjen erilaisia piirteitä kuten järvisyyttä, viipymää ja kuormitusta.

Pieniltä valuma-alueilta, joissa ei ole lainkaan järviä, on myös laskettu tilastolliset riippuvuudet vesimäärän ja laatusuureiden välille yli 1 500 havaintoparia käsittävästä aineistosta (Kohonen 1978). Lähes kaikkien suureiden kohdalla riippuvuus valumasta oli tilastollisesti erittäin merkitsevä. Vahvimpia olivat lukuarvoltaan kokonaisfosforin ja kokonaistypen positiiviset korrelaatiot valumaan verrattuina. Täysin indifferenttejä valuman suhteen olivat ainoastaan ammonium- ja nitriittityypen sekä kalsiumin pitoisuudet.

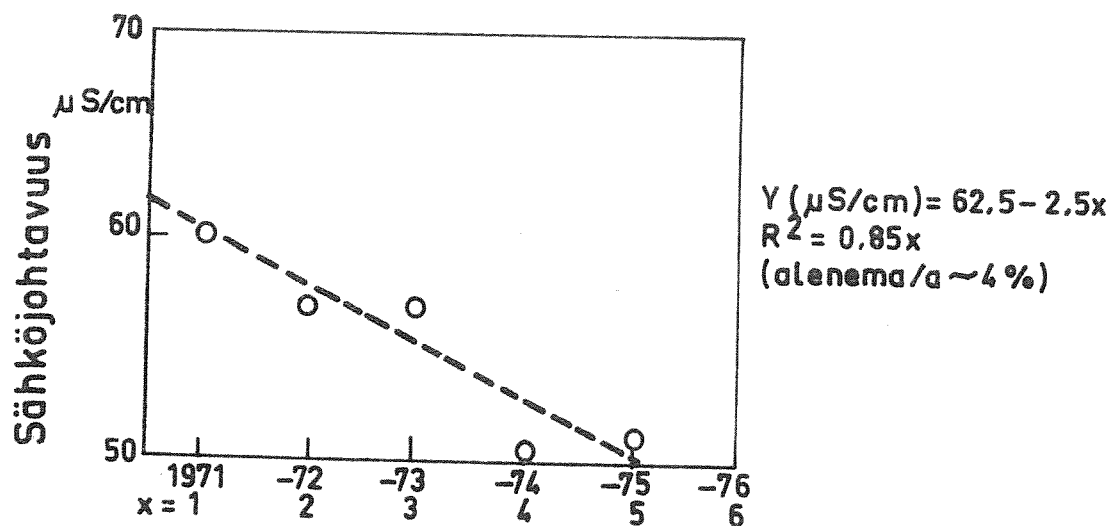
Mikäli veden laatuhavaintotuloksia käytetään sellaisissa vesistöissä, joissa vesimäärän luonnolliset vaihtelut ovat huomattavan suuria ilman, että samanaikaisesti kiinnitetään huomiota vallitseviin virtaamiin, syntyy helposti näennäisiä laatutrendejä puhtaissakin näytteenottopaikoissa. Vastaavasti taas saattavat jätevesien aiheuttamat kuormitusmuutokset jäädä tällöin tietyissä virtaamakehitysvaiheissa täysin huomaamatta. Esimerkiksi on valittu Ounasjoki Kittilän kohdalta, jossa veden laatua on pidettävä täysin luonnontilaisena. Kuvassa 4 on esitetty veden värin vuosikeskiarvojen (12 havaintoa/a) muutokset vuosina 1971-1975.



Kuva 4. Veden värin muuttuminen Ounasjoessa vuosina 1971-1975.

Trendi on selvästi kasvava ja veden väri näyttää lisääntyvän keskimääräisesti noin 16 % vuodessa.

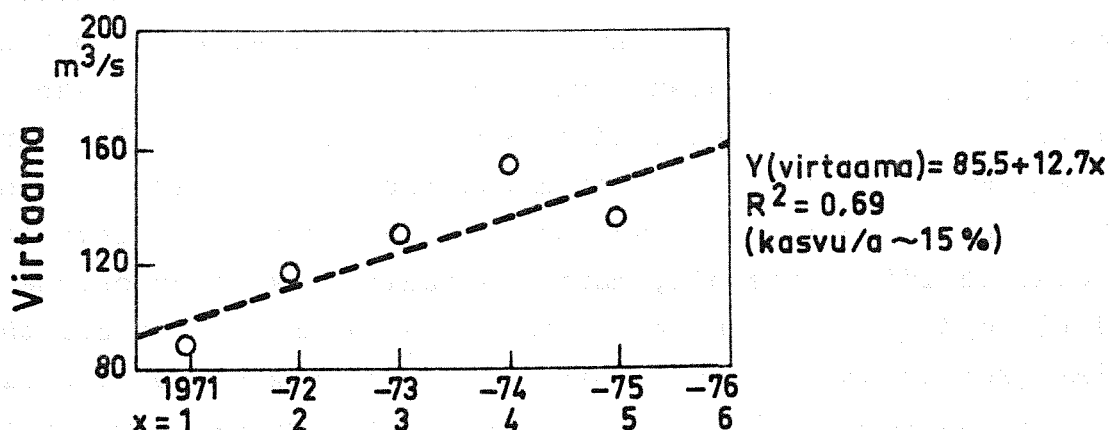
Vastaavasti on kuvassa 5 esitetty sähkönjohtavuuden vuosikeskiarvojen (12 havaintoa/a) muutokset vuosina 1971-1975.



Kuva 5. Sähkönjohtavuuden muutos Ounasjoessa vuosina 1971-1975.

Muutostrendi on yhtä selvä kuin veden värin kohdalla. Suunta on kuitenkin laskeva. Jos kyseisellä vesistön kohdalla olisi tapahtunut jokin ihmisen suorittama toimenpide, esimerkiksi puhdistamon rakentaminen, suo-ojitus tms., voitaisiin helposti muutos veden laadussa tulkita jostain tällaisesta johtuvaksi.

Selvitys on kuitenkin löydettävissä kuvasta 6.



Kuva 6. Ounasjoen vuotuisen keskivirtaaman vaihtelut vuosina 1971-1975.

Sääoloista johtuen on Ounasjoelle vuosille 1971-1975 sattunut sellainen ajanjakso, jolloin vuotuinen keskivirtaama on vuosi vuodelta kasvanut. Luonnonhuuhtoutumat ovat tästä syystä suurentuneet ja veden värin sekä sähkönjohtavuuden muutokset ovat kokonaisuudessaan laskettava virtaamamuutoksen aiheuttamiksi. Esimerkki antaa myös kuvan veden laadun muutoksen arvioinnista sellaisessa vesistössä, jossa myös ihmisen suorittamat toimenpiteet ovat vaikuttamassa.

Virtaaman vaikutuksen selvittämiseksi tulisikin vanha tutkimusaineisto käsitellä vesimäärät mukaan ottaen uudestaan ja arvioida sen jälkeen, ovatko esimerkiksi vesistöjemme suolapitoisuuden nousu ja samanaikainen KHT:n aleneminen (Laaksonen & Wartiovaara 1973) todellisia vai johtuvatko ne ainakin jossain määrin siitä pitkäaikaisesta sääkehityksestä, mikä on pienentänyt vesimääriä vesistöissämme.

2.2 VEDEN LÄMPÖTILA JA JÄÄPEITTEEN KESTOAIKA

Vesistöt ovat suhteellisen tasalämpöinen elinympäristö ja niiden vuotuinen lämpötalouden rytmi tunnetaan pääpiirteittäin tarkasti. Koska lämpötila on kuitenkin eräs biologisten toimintojen intensiteettiin voimakkaimmin vaikuttavista tekijöistä, tulisi sen merkitys veden laatua kuvaavien suureiden tulkinnassa aina muistaa ottaa huomioon.

Keväisen täyskierron vaikutuksesta vesimassa lämpiää varmuudella + 4-asteiseksi. Tämän lämpötilan ohittamisen jälkeinen lämpötilakehitys riippuu sitten kokonaan kevään ja alkukesän säistä. Varsin tärkeää on vesistöjen veden laadun seuranta tulosten analysoinnissa tietää kesäkerrostuneisuuden syntymisajankohta. Jos kerrostuminen tapahtuu nopeasti, alusvesi jää suhteellisen kylmäksi. Hajotustapahumat ovat tällöin hitaampia, mutta vastaavasti kesäkerrostuneisuus kestää pitempään. Tuulinen ja säältään epävakainen kevät siirtää sensijaan kerrostumisen syntymisen, joskus jopa kesäkuun lopulle. Kerrostuneisuuskausi jää tällöin suhteellisen lyhyeksi, mutta syntyvä alusvesi on tässä tapauksessa myös lämpöisempi.

Veden laadun tarkkailu keskittyy kesäaikana elokuulle, jolloin monissa tapauksissa myös suoritetaan avovesikauden ainoa havaintosarja. Varsinkin happipitoisuuden tulkinnassa tulee pyrkiä selvittämään, kuinka kauan kesäkerrostuneisuus on kestänyt.

Eräistä järvitutkimustuloksista on laskettu seuraavia hapenkulutuksen arvoja kesäkaudelta (Taulukko 1).

Taulukko 1: Hapenkulutuksen nopeus kesäkerrostuneisuuden aikana

	hapenkulutus mg/l·vrk	lämpötila °C
Inari	<0,010	6 - 7
Saimaa	0,026 - 0,033	6 - 9
Louhivesi	0,050 - 0,100	6 - 7

Likaisilla alueilla puolen kuukauden viivästyminen kesäkerrostuneisuuden synnyssä saattaa merkitä aivan oleellista eroa elokuun happitilanteeseen. Koko kesäkauden lämpötilojen havainnointi - ainakin jollakin tarkkuudella - on tärkeää vesien rehevöitymiskehitystä seurattaessa. Riittävä tarkkuus on saatavissa yhdistämällä vesihallituksen hydrologian toimiston pintavesien lämpötilamittausten ja ilmatieteen laitoksen säähavaintojen tiedot.

Syystäyskierto kestää vesistöissämme 80-90 vrk, mikä riittää yleensä koko vesimassan täydelliseen ilmastamiseen. Tutkimustulosten tulokinnan kannalta on tärkeää seurata, missä vaiheessa jääpeite katkaisee täyskierron. Jos jääpeite syntyy aikaisin, jää vesi yleensä suhteellisen lämpöiseksi (2,5-4,0°C). Täyskierron jatkuessa sen sijaan pitkälle alkavaan talveen, vedet kylmenevät 1-2-asteisiksi. Vaikka ero näyttää melko mitättömältä, on sen suhteellinen merkitys biologisten tapahtumien intensiteettiin erittäin suuri. Tätä vaikutusta vielä lisää se, että aikainen jäätyminen samalla merkitsee myös pitkää talvikerrostuneisuuskautta.

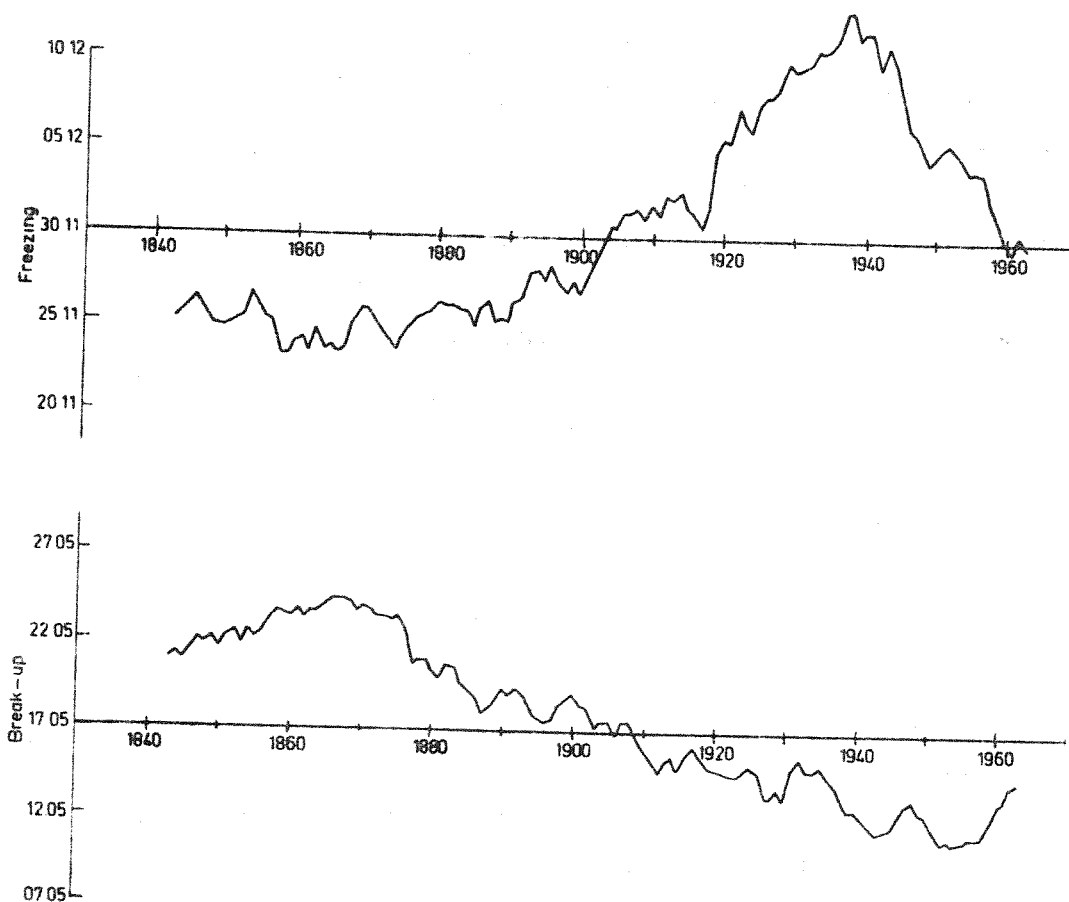
Talvella tapahtuvasta hapenkulutuksen nopeudesta on laskettu eräistä vesistöistä seuraavat arvot (taulukko 2):

Taulukko 2: Hapenkulutuksen nopeus talvikerrostuneisuuden aikana

Paikka	Hapenkulutus mg/l · d	Lämpötila °C
Inari	0,010 - 0,020	1-2
Saimaa (puhdas)	0,020 - 0,030	2-3
Saimaa (metsäteollisuuden likaama)	0,110 - 0,200	2-3
Lokan tekojärvi	max 0,250	2-3

Kulutusarvot ovat keskimääräisiä koko talven ajalta laskettuja. Todellisuudessa tämä nopeus on aluksi keskimääräistä suurempi ja laskee alle keskiarvon myöhemmin happipitoisuuden alentuessa.

Järvien jäätyminen ja jäänlähtö ovat täysin riippuvaisia vallitsevasta säästä. Täten on ymmärrettävää, että näissä molemmissa esiintyy suurta vaihtelua, joka noudattelee yleistä sääkehitystä (kuva 7).



Kuva 7 : Järvien jäätymissen ja jäänlähdon ajankohdat Kallavedellä vuosina 1834-1973 (20 vuoden liukuvina keskiarvoina (Lemmelä ja Kuusisto 1976 mukaan))

Jäätymissen ja jäänlähdon ajankohtien vaihdellessa on luonnollista, että jääpeitteen kesto aika on myös vuodesta toiseen vaihteleva (Taulukko 3).

Taulukko 3: Keskimääräinen jääpeitteen kesto aika sekä ääritilanteet eräillä Suomen järvillä 50 vuoden aikana (Lemmelä ja Kuusisto 1976 mukaan)

Järvi	Keskimääräinen jääpeitteen kesto aika, d	50 vuoden tarkkailujakson		
		pisin jääpeite d	lyhin jääpeite, d	Näiden erotus, d
Saimaa	162	199	113	86
Päijänne	144	197	102	95
Lohjanjärvi	148	203	90	113
Näsijärvi	142	194	101	83
Lappajärvi	166	215	117	98
Oulujärvi	188	234	142	92
Inari	208	245	155	90

Tutkittaessa eri vuosina otettuja happinäytteitä samassa aineistossa ja pyrittäessä selvittämään vesien tilan kehitystä tulee jääpeitteen kesto aika ottaa huomioon eräänä vaikuttavana tekijänä. Vaikutuksen suuruus voidaan arvioida esimerkiksi seuraavan tapaisesti (taulukko 4).

Taulukko 4: Happipitoisuuden poikkeama talvikerrostuneisuuden lopussa jääpeitteen kestoajaltaan keskimääräisen vuoden happi-tilanteesta erilaisissa vesistöissä (vrt. taulukko 2). Jääpeitteen kestäessä yli keskiarvon poikkeama on negatiivinen ja talven ollessa keskiarvoa lyhyemmän poikkeama on positiivinen.

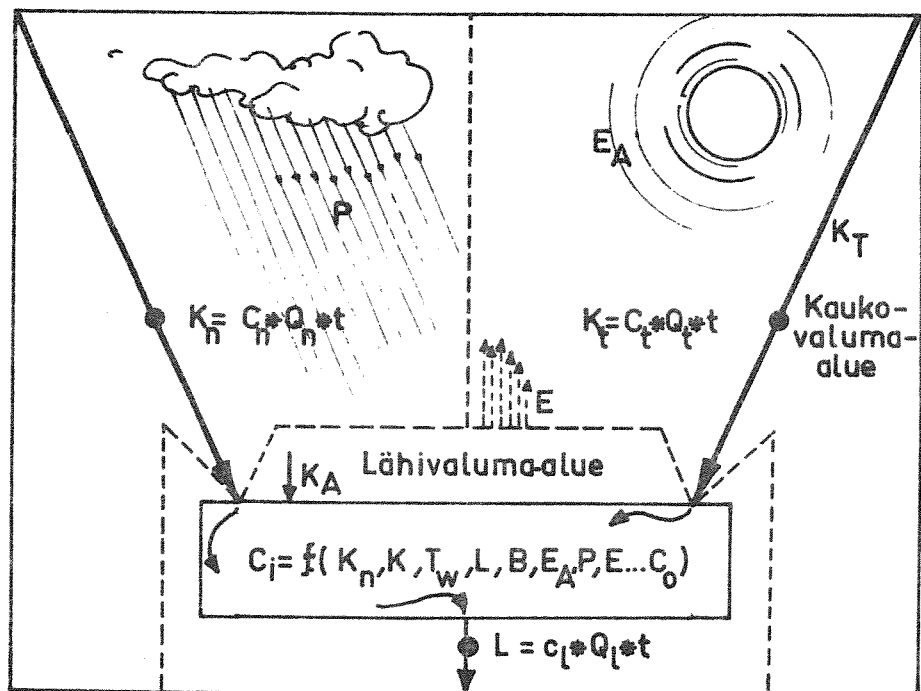
Jääpeitteen kesto- ajan poikkeama kes- kiarvosta, d	Happipitoisuuden poikkeama, mg/l					
	Veden hapenkulutus, mg O ₂ /l · d					
	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05	0,02
5	1,25	1,0	0,75	0,5	0,25	0,10
10	2,5	2,0	1,5	1,0	0,50	0,20
15	3,7	3,0	2,2	1,5	0,75	0,30
20	5,0	4,0	3,0	2,0	1,0	0,40
30	7,5	6,0	4,5	3,0	1,5	0,60
40	10,0	8,0	6,0	4,0	2,0	0,80

Puhtaissa vesistöissä muutamien kymmenienkään vuorokausien ero talven pituudessa ei vielä merkitse kovin suuria vaihteluja happi-tilanteeseen. Sen sijaan likaantuneissa vesissä, joissa hapenkulutusnopeus on suuri, syntyy jo alle kymmenen vuorokauden erolla myös happipitoisuuteen huomioon otettava muutos.

Jääpeitteen kestoajalla on likaantuneissa vesissä vaikutusta myös seuraavan kesän levätuotantoon. Mitä pitempi talvi on, sitä suurempia loppukesän levätuotantoja voidaan odottaa. Kun lyhyen talven aikana ennättävät likaantuneissa järvissä vain syvänteiden pohjat muuttua hapettomiksi, kuluu happi loppuun pitkän talven aikana tuntuvasti suuremmasta vesimassasta. Hapettomuuteen liittyvä ravinteiden mobilisoituminen (vrt. Kyröläinen 1978) tapahtuu tällöin huomattavasti suuremmalta pohjan alueelta kevättäyskierrossa. Esimerkiksi fosforipitoisuudet täyskierron yhteydessä voivat, jätevesikuormituksen pysyessä muuttumattomana, vaihdella yksinomaan tästä syystä $\pm 30\%$. Ravinteiden lisääntyminen näkyy siten seuraavalla kasvukaudella kohonneena perustuotantona.

3. A L U E E L L I S U U S

Manuaalinen tarkkailu seuraa nykyisellään enemmän yhden näytteenotto-aseman veden laatua ja siinä tapahtuvia vaihteluja kuin kokonaisias vesistöalueita. Tätä on pidettävä tietynlaisena heikkoutena, koska vesistöjen ymmärtäminen systeemikokonaisuuksina tällöin tulee vaikeammaksi. Yhden pisteen veden laadun tietäminen on tietysti tärkeää juuri senhetkisen tilanteen ja veden käyttökelpoisuuden selvittämiseksi. Sen sijaan seurannassa yhden pisteen tuloksilla monenkin vuoden ajalta ei ole suurta arvoa, mikäli koko vesistösysteemiin liittyviä tärkeitä, veden laatuun vaikuttavia muuttujia ei ole seurattu samanaikaisesti.



Kuva 8. Hydrologinen kokonaisuus veden laatuun vaikuttavine tekijöineen.

P = sadanta, E = haihdunta, Q = virtaama, E_A = valo- ja lämpöenergia, K_{Asutus} = asutuksen aiheuttama kuormitus, $K_{Teollisuus}$ = Teollisuuden aiheuttama kuormitus, $K_{n...t}$ = jokien mukanaan järveen kuljettama ainemäärä, L = joen poiskuljettama ainemäärä, C = pitoisuus, T_w = viipymä, B = biologiset reaktiot.

Järven veden laatu on siis riippuvainen varsin monista tekijöistä (kuva 8). Koko ajan järven tila muuttuu. Tietyn hetken alkutilanteeseen (Co) vaikuttavat muuttavasti luonnon omat tekijät; vesimäärä, huuhtoutumat ja energia. Kun näissä tapahtuu suurtakin vaihtelua, ei järven tilan muutos ole tasaisesti etenevä prosessi.

Jätevesien laskun tai muun muuttavan toiminnan vaikutuksen selvittäminen edellyttää tutkimustulosten hyödyntämistä alueellisina. Tällöin on mahdollista esimerkiksi matemaattisten mallien avulla "puhdistaa" veden laatutiedoista luonnolliset, lähinnä säävaihteluista johtuvat muutokset ja tarkastella senjälkeen tuloksista esimerkiksi jätevesien vaikutuksia.

Alueellisuuden huomioimisesta on esimerkkinä Pyhäjoki, jota on käsitelty laajemmin liitteessä 2.

4. MITATTAVIEN SUUREIDEN VALINTA

Eräs tutkimusohjelmien keskeinen kohta on luettelo tehtävistä määrittäyksistä. Vesistötutkimusten kehittymisen myötä tuo luettelo on venynyt niin, että nykyisellään pystytään määrittämään vedestä noin 80 eri ainetta tai yhdistettä. Tällä sinänsä erittäin myönteisellä kehityksellä on kuitenkin ollut omat varjopuolensa. Hyvin helposti on jatkuviin tarkkailuohjelmiin lisätty määrityksiä eikä niiden informaatioarvoa jälkeinpäin enää ole kriittisesti tarkasteltu. Tässä yhteydessä ei ole tarkoitus tehdä analyysien "karsimishjelmaa", vaan on tarkasteltu eräitä mitattavia analyysiryhmiä ja niiden merkitystä vesien tilan jatkuvassa seurannassa.

Vesihallituksen suorittaman, jo vuonna 1962 aloitetun virtahavaintopaikkojen veden laadun seurannan analyysiohjelma on seuraava:

- | | |
|-------------------|--------------------|
| - lämpötila | - rauta |
| - happipitoisuus | - mangaani |
| - sähkönjohtavuus | - kloridit |
| - alkaliniteetti | - kokonaisriikki |
| - pH | - kalsium |
| - väri | - magnesium |
| - KHT | - kalium |
| - kiintoaine | - natrium |
| - kokonaistyyppi | - pii |
| - kokonaisfosfori | - orgaaninen hiili |

Näytteet otetaan neljä kertaa vuodessa yhteensä noin 190 havaintopaikalta. Järvisyvänteiltä (n. 160 kohdetta) tehdään edellisten määritysten lisäksi sulfaattianalyysi.

Jos edellä oleva analyysilista otetaan tarkastettavaksi, se voidaan jakaa mm. seuraaviin ryhmiin:

1. Lämpötalouden selvittämiseksi tehtävät määritykset
 - lämpötila
2. Kaasutalouden selvittämiseksi tehtävät määritykset:
 - happipitoisuus
3. Mineraaliaineiden pitoisuuksia selvittävät määritykset:

- sähkönjohtavuus	- (kokonaisriikki)
- alkaliniteetti	- kalsium
- rauta	- magnesium
- mangaani	- kalium
- kloridit	- natrium
- (kokonaistyppe)	- pii
- (kokonaisfosfori)	
4. Orgaanisten aineiden pitoisuuksia selvittävät määritykset:

- KHT	- (väri)
- orgaaninen hiili	- (kiintoaine)
5. Muut määritykset
 - pH

Eräiden määritysten kohdalla sijoittelu voisi tapahtua molempiin ryhmiin 3 ja 4. Tässä ne on ryhmitetty pääasiallisen tulkinnan mukaan.

Vesien tilan kehittymistä seurattaessa tarvitaan tietoja jollain tavalla jokaisesta edellä esitetystä ryhmästä. Se, mitkä tiedot ovat käyttökel-
poisimmat ja tärkeimmät, määräytyy kulloinkin vesistöön kohdistuvasta
muutostavasta.

Vesistöjen muutokset voidaan jakaa luonnollisiin muutoksiin, likaantumis-
muutoksiin ja vesistöjen tai vesistöalueen rakentamiseen liittyviin muu-
toksiin. Luonnollinen muutos on hidas. Esimerkkinä voidaan pitää jää-
kauden jälkeisenä aikana tapahtunutta soistumista ja sen seurauksena
vesiemme humuspitoisuuden kasvua. Pitkällä tähtäimellä lienee vesiemme
tulevaisuuden kehityksenä kuitenkin rehevöityminen.

Seuraavassa tarkastellaan ihmisen toimintojen aiheuttamien nopeampien veden laadun muutosten seuraamista ja erityisesti kiinnitetään huomiota vain tärkeimpien muutosta ilmentävien suureiden valintaan.

Jätevesien vaikutukset vesistöissä voidaan karkeasti jakaa kahteen ryhmään:

- vaikutukset happitalouteen
- vaikutukset tuotantoon.

Useimmissa likaantumistapauksissa molemmat vaikutukset ovat samanaikaisia. Yleisesti ottaen kuitenkin selluteollisuuden jätevedet vaikuttavat ensisijaisesti vesistön happitalouteen ja asumisjätevedet vesistön tuotantoon. Kun vaikutuksen lisäksi tulee seurata myös vaikutuksen aiheuttajia, voidaan muodostaa seuraava listaus niistä määrityksistä, joiden pohjalta tilannetta ja veden laadun kehitystä pystytään vesistössä havainnoimaan:

Selluteollisuus:

- Lämpötalous	lämpötila	Tapahtumien nopeuden selvittämiseksi
- Kaasutalous	happipitoisuus	Vaikutuksen suuruuden selvittämiseksi
- Mineraaliaineet	sähkönjohtavuus, jokin biologisesti indifferentti aine (esim. Na)	Jäteveden pitoisuuden selvittämiseksi
- Orgaaniset aineet	org. hiili, KHT	Vaikuttavan aineen tai aineryhmän pitoisuuden selvittämiseksi
- Muut	pH	Veden happamuuden tai emäksisyyden selvittämiseksi

Asumisjätevedet:

- Lämpötalous	lämpötila	Tapahtumien nopeuden selvittämiseksi
- Kaasutalous	happipitoisuus	Sekundäärivaikutusten selvittämiseksi
	hiilidioksidipitoisuus (ja alkaliniteetti)	Tuotantoon käytettävissä olevan hiilen määrän selvittämiseksi

- Mineraaliaineet	sähkönjohtavuus	Jäteveden pitoisuuden selvittämiseksi
	kokonaisfosfori ja kokonaistyyppi	Ravinteiden kokonaismäärän selvittämiseksi
	fosfaattifosfori sekä ammonium- ja nitraattityyppi	Tuotannolle käytettävissä olevan ravinnemäärän selvittämiseksi
- Orgaaniset aineet	org. hiili, KHT (klorofylli)	Kokonaisbiomassan selvittämiseksi (kasviplanktonbiomassan selvittämiseksi)
- Muut	pH	Veden happamuuden tai emäksisyyden selvittämiseksi

Monissa tapauksissa selluteollisuuden lähivesillä on havaittavissa myös rehevöitymisilmiö, jolloin edellä esitettyjä määritysluetteloja joudutaan käyttämään yhdessä.

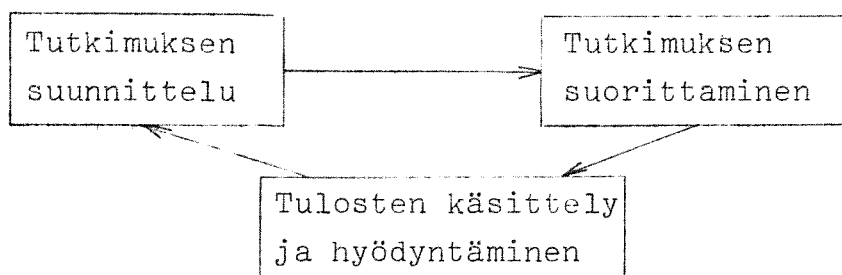
Näiden suhteellisesti harvojen määritysten avulla on mahdollista seurata vesien tilan kehitystä, kunhan samanaikaisesti hankitaan tietoja hydrologisten suureiden vaihteluista ja muutoksen aiheuttavista jätevesistä. Muiden määritysten lisääminen analyysivalikoimaan ei lisää tehtyyn työhön verrattuna samassa suhteessa informaatiota vesistön tilasta ja kehityksestä. Eräät määritykset ovat suoranaisesti vain toistensa varmentajia. Esimerkiksi sähkönjohtavuuden ja kloridien keskinäinen riippuvuus on erittäin suuri eikä näin ollen kloridimääritys lisää suurestikaan tarvitsemaamme tietoutta. Toisten määritysten heikkoutena on niiden epätarkkuus pienissä pitoisuuksissa. Tällaisia ovat mm. BHK- ja kiintoainemääritykset. Eräät määritykset kuvaavat vain sitä ympäristöä, jossa likaantumisilmiöt tapahtuvat eikä niiden voida biologisesti inaktiivisina olettaakaan muuttuvan. Tällainen ryhmä ovat maa-alkalimetallit.

Mitattavien laatusuureiden valinnassa tulee pääpaino laittaa niiden hyödynnettävyyteen. Jatkuvasti mitattaviksi valitaan vain ne suureet, joita tulosten hyödyntämisessä käytetään. Muiden määritysten kohdalla tulisi tarkastella alueellisesti, missä määrin kyseinen määritys on välttämättömän kuvaamaan vesistön muutosilmiöitä tai jäteveden suoranaista vaikutusta vesistössä. Muutoksia heikosti ilmentävien määritysten kohdalla voitaisiin siirtyä huomattavasti nykyistä harvempaan havainnointiin,

mikä vapauttaisi resursseja mm. biologisten tutkimusten suorittamiseen. On kuitenkin korostettava, että tämä analyysien valinta tulee suorittaa vesistö- ja likaajakohtaisesti.

5. T U L O S T E N K Ä S I T T E L Y

Edellä esitettyjen tutkimusten suunnitteluun ja niiden suorittamiseen liittyvien näkökohtien lisäksi vaatii manuaalisen vesistötarkkailun kehittäminen paneutumista tutkimustulosten käsittelyyn ja hyödyntämiseen. Koko tutkimustoiminta onkin nähtävä jatkuvana prosessina, jossa eri työvaiheet aina ohjaavat jatkoa. Ellei näin ole, tutkimus muuttuu



helposti itsetarkoitukseksi ja aikaa myöten tutkijoita turhauttavaksi.

KVT-projekti on ollut mukana kehittämässä Päijänteen tutkimustulosten hyväksikäyttöä ja teettänyt Pyhäjoelle tarkkailutulosten hyväksikäytön mallikehittelmän Pohjois-Suomen Vesitutkimustoimistossa (liite 2). Seuraavassa käsitellään lyhyesti näiden molempien tutkimusten keskeisimpiä kohtia.

5.1 PÄIJÄNTEEN TUTKIMUSTULOSTEN KÄSITTELY

Päijänne on eräs maamme tärkeimmistä vesistöistä. Sen veden laatuun on kohdistunut myös tästä syystä varsin vilkas ja monipuolinen tutkimustoiminta. Jotta tästä toiminnasta saataisiin käytettyihin varoihin verrattuna mahdollisimman suuri hyöty, vesihallitus päättikin 22.11. 1974 pidetyssä neuvottelukokouksessa perustaa Päijännettä varten erityisen valvonta- ja tutkimusohjelmia koordinoivan työryhmän. Sen tehtäväksi tuli

- 1) Päijänteellä suoritettavien vesistötutkimusten yhteensovittaminen ja tällä tavoin päällekkäisyyden estäminen

- 2) Johtopäätösten teko tutkimuksista ja laadittujen ennusteiden seuraaminen
- 3) Ehdotusten tekeminen tarvittavista toimenpiteistä
- 4) Raportointi työnantajille tilanteen kehittymisestä

Vesihallinnon edustajien lisäksi kuului työryhmään jäseniä vesienkäytön eri intressipiireistä.

Ensimmäisenä työryhmä kiinnitti huomiota tutkimusohjelmien yhdenmukaistamiseen alueellisesti. Päijänteen lisäksi ulotettiin ohjelmien tarkastelu pohjoisessa Äänekoskelle saakka, etelässä taas mukaan otettiin varsinaisen Kymijoen ylin havaintoasema ja Vesijärvi.

Ohjelmien tarkistamisen ja koordinoinnin jälkeen päästiin käsiksi tärkeimpään tehtävään eli laatimaan yhtenäistä tietojen käsittelytapaa. Lähtökohdaksi otettiin tulosten käsittely alueellisina kokonaisuuksina. Päijänne jaettiin yhteensä 12 osaan käyttäen pohjana hydrologisia ominaisuuksia ja vesistön likaantumisalueita. Kullakin alueella olevat näytteenottoasemat yhdistettiin yhdeksi havaintopaikaksi. Monilla alueilla olikin vain yksi näytteenottoasema.

Näytteenottoajat jaettiin kullakin alueella seuraavasti vuodenaajoittain

- talvi (talvikerrostuneisuus) 1.1. - 30.4. noin 120 vrk
- kevät (kevättäyskierto) 1.5. - 10.6. noin 40 vrk
- kesä (kesäkerrostuneisuus) 11.6. - 31.8. noin 80 vrk
- syksy (syystäyskierto) 1.9. - 31.12. noin 120 vrk

Päivämäärät ja kausien pituudet vaihtelevat vuosittain ja ne tulee määritellä esimerkiksi alueelta saatavien säätietojen ja hydrologisten havaintojen pohjalta.

Ennen tulosten laskemista tulee jokainen havaintoalue jakaa syvyysvyöhykkeisiin. Laskennassa käytetään kolmea kerrosta, joiden paksuudet vaihtelevat aina paikan ja ajan mukaan seuraavasti:

- pintavesivyöhyke (tähän kerrokseen otetaan mukaan vain ne tulokset, jotka varmuudella ovat päällysvettä)
- syvävesivyöhyke (tähän kerrokseen otetaan mukaan vain ne tulokset, jotka varmuudella ovat alusvettä)
- välivesivyöhyke (tähän kerrokseen otetaan mukaan ne tulokset, jotka eivät "mahdu" kumpaankaan edellisistä tuloksista. Tämän kerroksen erottamisella omaksi vyöhykkeeksi pyritään ainoastaan takaamaan,

että päällys- ja alusvedestä kummastakin saadaan käyttöön vertailukelpoiset keskiarvot)

Havaintopaikkakohtaisesti on kyseisille vyöhykkeille laskettu tilavuudet. Kunkin kerroksen keskipitoisuus lasketaan siten, että näytearvoille annetaan kunkin näytteen edustaman tilavuuden osuuden mukainen painotus.

Painotus tapahtuu seuraavalla tavalla:

$$C_k = \frac{V_n}{V_k} C_n + \dots + \frac{V_m}{V_k} C_m \quad (1)$$

jossa C_k = jonkin kerroksen painotettu pitoisuus
 C_n = näytesyvyyttä N vastaava pitoisuus
 C_m = " M " "
 V_n = näytesyvyyttä N vastaavan osakerroksen tilavuus
 V_m = " M " " "
 V_k = kerroksen tilavuus = $V_n + \dots + V_m$

Koko vesipatsaan keskipitoisuus lasketaan kerroksien keskipitoisuuksien ja tilavuuksien funktiona:

$$\bar{C} = \frac{V_p}{V} C_p + \frac{V_v}{V} C_v + \frac{V_s}{V} C_s \quad (2)$$

$$V = V_p + V_v + V_s \quad (3)$$

jossa \bar{C} = vesipatsaan keskisyvyys
 C_p = pintavesikerroksen keskipitoisuus
 C_v = välivesikerroksen keskipitoisuus
 C_s = syvävesikerroksen keskipitoisuus
 $V:t$ = tilavuuksia (vastaavasti)

Vuosikeskiarvoja laskettaessa otetaan kauden pituus huomioon. Näin saadaan laskettua analyysikohtaiset tilavuudella ja vuodenaikojen pituudella painotetut vuosikeskiarvot. Nykyisen käytännön mukaan tuotetaan keskiarvotaulukot myös havaintokerroittain ja vuodenajoittain.

Kukin taulukko ilmoitetaan lisäksi syvyysvyöhykkeittäin. Taulukko 5 esittää tällaisen vuosiyhteenvedon koko Päijänteestä tärkeimpien veden laatua kuvaavien muuttujien osalta. Laskenta-aineisto on poimittu vesihallituksen vedenlaaturekisteristä vuosittain joulukuun päivitysajon jälkeen. Havaintopaikkoja on ollut noin 60 sekä niissä havaintoja yhteensä nykyisellään noin 4 000 vuodessa.

Tämäntapainen tiivis taulukko antaa hyvän lähtökohdan tilanteen arvioinnille. Vesistötulosten lisäksi tähän "Päijänne-raporttiin" kuuluu vuosittain selvitykset alueen kuormittajista, niiden lupatilanteesta sekä kuormituksesta. Lisäksi raportissa ovat liitteinä jätevesi- ja vesistötutkimusohjelmat.

Päijänteen tutkimustulosten käsittelyä edelleen kehitettäessä tulisi raportointiin liittää yhtenä oleellisena osana hydrologiset tiedot (virtaamat, sademäärät) eräänä tärkeänä tulosten selittäjänä.

5.2 PYHÄJOEN VESISTÖ

Pyhäjoen vesistö on täysin erilainen vesistö kuin Päijänne. Lukuunottamatta vesistön latvajärveä muodostuu koko vesistö jokireitistä ja pienehköistä järvioltaista. Kuvaavia vesistön luonteelle ovat sen, säännöstelystä huolimatta, voimakkaat virtaamavaihtelut. Keskiylivirtaama on ollut jopa yli 100-kertainen keskialivirtaamaan verrattuna (Hydrologinen kuvaus on tarkemmin esitetty liitteessä 2). Tällaisissa oloissa veden laadun kehittymisen seuranta on erityisen hankalaa.

Tarkkailuongelmaa on pyritty Pohjois-Suomen vesitutkimustoimiston laatimassa selvityksessä (liite 2) lähestymään käyttäen apuna massavirtauskaavioita. Käyttämällä rinnan tietyllä hetkellä havaittua ainevirtaamaa ja jatoisaalta sen hetkistä vedenlaatua ja vertaamalla näitä vesistöön kohdistuvaan kuormitukseen, päästään tarvittavia toimenpiteitä lähestymään "vesistöstä käsin". Havaintoaineiston kasvaessa voidaan riippuvuudet kirjoittaa matemaattisten yhtälöiden muotoon, jolloin asiaa kyetään tarkastelemaan objektiivisemmin.

Pienehköissä, jokimaisissa vesistöissä veden laatua kuvaavien suureiden keskiarvojen ja myös vuotuisten keskimääräisten ainevirtaamien käyttö johtaa helposti virheellisiin johtopäätöksiin. Tätä voidaan tarkastella esimerkiksi liitteen 2 sivulla 115 esitetyn fosforin ainevirtaamakaavion

Taulukko 5. Päijänteen tutkimustulokset vuosilta 1973 - 1976.

	Happi kyll.%		KHT mg/l		Kok. P µg/l		Kok. N µg/l		Sähk.joht. mS/m		Väri mg Pt/l		pH	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
Poronselkä														
1973	71,7	63,2	12,4	12,2	29,5	44,8	478	592	6,2	7,9	54,6	60,3	6,6	6,6
74	70,4	61,0	12,3	12,1	27,2	43,5	566	635	5,8	6,1	64,2	70,0	6,5	6,5
75	75,7	67,0	13,5	13,4	24,3	38,3	577	728	5,5	5,6	75,6	79,9	6,5	6,5
76	75,5	66,6	12,4	12,3	30,6	37,9	606	770	6,5	6,9	50,5	56,3	6,5	6,5
Ristiselkä														
1973	77,3	76,9	12,0	11,2	22,0	19,8	429	440	5,8	5,8	42,8	39,8	6,6	6,7
74	72,0	70,6	11,5	10,9	22,6	21,0	491	498	5,9	5,9	47,6	45,6	6,5	6,5
75	80,4	78,8	12,4	11,6	19,4	18,6	491	467	5,4	5,5	67,5	62,7	6,6	6,6
76	84,5	81,4	11,4	11,1	19,9	18,9	545	543	5,9	5,8	45,5	45,9	6,6	6,6
Vanhasselkä I (610)														
1973	88,1	84,7	10,1	10,0	16,1	15,1	405	422	5,8	5,8	39,2	39,6	6,7	6,7
74	82,3	77,9	10,3	10,0	15,0	14,7	463	463	5,9	5,9	43,5	42,5	6,7	6,6
75	84,3	82,8	12,1	11,3	17,6	17,5	529	549	5,5	5,6	58,5	54,5	6,7	6,7
76	91,4	89,1	10,8	10,6	14,2	13,1	497	517	5,6	5,6	41,6	41,7	6,8	6,7
Vanhasselkä II (625)														
1973	89,4	86,4	9,7	9,7	13,5	13,0	-	-	5,9	5,9	40,6	37,7	6,8	6,8
74	84,5	82,8	10,5	10,6	9,1	10,9	419	-	6,2	6,2	33,6	35,8	6,9	6,7
75	85,5	81,9	11,5	11,2	18,4	16,6	536	501	5,9	6,0	50,6	49,4	6,8	6,7
76	91,8	87,1	10,5	9,9	13,8	12,7	507	494	5,7	5,6	39,8	39,8	6,8	6,8
Souselkä														
1973	88,9	81,8	9,6	11,3	22,2	22,0	363	371	5,9	6,3	40,4	48,4	6,6	6,4
74	84,4	78,6	11,4	11,4	15,2	16,0	438	444	6,1	6,1	37,7	37,0	6,6	6,5
75	87,2	84,8	11,4	11,6	17,8	17,8	463	476	5,7	5,7	56,5	56,9	6,7	6,6
76	93,7	90,0	11,3	11,3	16,3	16,0	481	482	5,7	5,7	42,5	43,9	6,8	6,7
Tiirinselkä														
1973	52,3	22,6	19,0	26,2	41,5	39,3	-	-	8,1	9,2	77,3	107,4	6,0	5,5
74	38,6	7,2	22,1	27,1	50,1	90,4	469	-	8,0	8,8	82,2	112,9	6,4	6,3
75	36,1	21,8	27,5	27,7	52,4	89,2	667	846	7,4	7,6	141,2	173,7	5,9	5,9
76	54,5	24,0	18,6	24,2	51,7	89,6	594	687	7,5	8,6	76,0	94,2	6,3	5,9
Lehtiselkä I (VH)														
1973	69,0	13,7	15,1	22,8	35,2	75,0	520	812	7,0	8,4	68,8	125,1	6,2	5,5
74	57,5	39,6	18,1	13,9	43,0	67,7	525	615	7,2	7,5	69,9	80,3	6,2	6,1
75	57,2	52,6	20,2	22,8	46,0	90,2	587	679	6,4	6,5	109,4	110,8	6,1	6,2
76	73,3	54,4	15,1	16,3	33,2	43,5	508	545	6,7	7,0	65,2	74,8	6,4	6,1
Lehtiselkä II														
1973	74,1	55,1	12,9	15,2	23,4	31,2	-	-	6,9	7,3	54,7	69,5	6,4	6,3
74	62,7	13,8	14,1	16,8	26,5	67,4	507	-	6,9	7,4	60,1	91,8	6,7	6,5
75	75,8	66,1	15,5	17,0	26,9	31,3	585	623	6,7	7,0	77,8	88,4	6,5	6,4
76	75,5	65,2	13,5	14,5	30,6	40,3	534	546	6,4	6,5	60,4	69,2	6,5	6,4
Judinsalonselkä														
1973	95,1	91,7	9,8	10,1	12,0	12,0	-	-	6,1	6,1	36,5	37,0	6,8	6,7
74	89,2	84,8	9,7	9,7	13,1	12,6	408	409	6,1	6,1	36,5	36,8	6,7	6,7
75	90,9	87,8	10,8	11,3	16,4	16,0	473	470	5,7	5,7	49,0	52,4	6,8	6,7
76	95,8	93,3	10,0	9,9	13,2	13,6	441	453	5,7	5,6	38,9	38,6	6,8	6,8
Tahinselkä														
1973	94,7	91,0	9,1	8,8	9,8	10,2	396	429	6,0	6,0	32,1	31,4	6,6	6,7
74	92,5	89,4	8,5	8,4	8,5	8,4	391	360	6,0	5,9	29,9	28,8	6,8	6,9
75	93,3	90,9	9,8	9,7	13,6	13,0	428	426	5,9	6,0	41,7	40,9	6,9	6,8
76	94,0	91,1	9,7	9,6	10,1	10,9	437	439	5,7	5,7	36,4	36,2	6,9	6,8
Virmailanselkä														
1973	97,3	93,7	8,1	7,8	-	-	405	460	6,0	5,9	27,0	25,0	6,8	6,7
74	91,9	88,5	8,1	8,0	8,2	8,2	388	392	5,9	5,9	28,4	29,1	6,9	6,8
75	94,0	91,1	9,6	9,2	12,8	14,0	408	406	5,9	5,9	37,1	37,6	6,9	6,8
76	97,0	94,8	9,5	9,3	10,9	11,3	461	453	5,8	5,7	35,3	35,3	6,9	6,8
Asikkalanselkä														
1973	94,0	91,0	7,9	7,9	13,5	10,2	377	496	6,3	6,4	28,8	28,9	6,7	6,6
74	90,1	85,9	7,7	7,6	7,9	8,2	418	421	6,2	6,3	30,2	30,0	6,9	6,9
75	93,5	90,2	8,5	8,2	11,0	11,2	409	404	6,7	6,8	31,3	31,6	6,9	6,9
76	95,9	92,7	8,7	8,5	9,9	10,9	445	473	6,1	6,2	30,7	32,5	7,0	6,9

a = koko vesimassan keskiarvo (painotettu tilavuuden ja vuodenaikojen mukaan)

b = alusveden keskiarvo (sama painotus)

avulla. Mereen purkautuva keskimääräinen fosforimassa on 139 kg/d (v. 1976). Sen sijaan elokuussa havaittu fosforin ainevirtaama on vain 27 kg/d. Kun jätevesien mukana vesistöön johdettava kuorma pysyy vuodenajasta riippumatta lähes samana, tulevat jätevesien aiheuttamat haitat korostetusti esille niinä vuodenaikoina, jolloin niiden suhteellinen osuus on suurin. Puhdistustavoitteita asetettaessa tulisikin lähtökohtana pitää näitä vesistön "kriisiaikoja".

Pyhäjoella kokeiltu ainevirtaamatarkastelu soveltuu pienten jokivesistöjen tarkkailutulosten käsittelyyn. Se antaa viitteitä myös veden laadun tarkkailun suorittamiseen. Jälleen kerran käy selvästi ilmi hydrologisen havainnoinnin samanaikaisuuden tärkeys. Virtaamavaihtelut ovat sitä suurempia, mitä pienemmästä ja vähäjärvisestä jokivesistöstä on kysymys. Muutamassa päivässä saattavat virtaama ja sen mukana veden laatu muuttua täysin (vrt. Kohonen 1978).

6. Y H T E E N V E T O

Edellä on lyhyesti käsitelty eräitä keskeisiä manuaalisen vesistötarkkailun kehittämiseen liittyviä näkökohtia. KVT-projektissa teetettyjen kahden samaa aihetta käsitelleen konsulttityön liittäminen sellaisenaan osaksi tätä selvitystä on mahdollistanut asioiden lyhyen esittämisen. Yhdessä liitteiden kanssa selvitys kuitenkin antanee yhtenäisen kuvan manuaalisen vesistötarkkailun kehittämistarpeesta.

Keskeisinä kohteina vesistötarkkailun parantamisessa on pidettävä hydrologisten seikkojen samanaikaista huomioimista veden laatutietojen kanssa ja tarkkailujen muuttamista alueellisiksi, jolloin muutosilmiöiden taustaa voidaan paremmin tarkastella. Tämän vuoksi tulisikin muodostaa hydrologisista vesistökokonaisuuksista yhteistarkkailualueita. Tutkimusohjelmia tulisi tarkistaa siten, että veden laadun havainnointi yhdistetään jokiveistöissä virtaaman ja järvivesistöissä vedenkorkeuden samanaikaiseen mittaamiseen. Vesimäärän muutokset sekä säänvaihtelut - ennenkaikkea talven pituus ja kesän lämpötila ja tuulisuus - tulisi ottaa eräinä veden laatuun keskeisesti vaikuttavina tekijöinä huomioon tulosten käsittelyssä.

Tutkimusohjelmia suunniteltaessa ja muutettaessa tulisi kiinnittää huomiota mukaan valittavien määritysten merkitykseen. Varsinkin ruutiininomaisessa jatkuvassa tarkkailussa olisi pääpaino laitettava välittömästi hyödynnettävien analyysien suorittamiseen. Valinta tulee kuitenkin aina tehdä vesistö- ja likaajakohtaisesti.

Tutkimusten tärkein vaihe on tulosten käsittely ja niiden hyväksikäyttö. Vesistöalueittain tulisikin pyrkiä kehittämään erilaisia käsittelytapoja, joista tässä työssä ovat esimerkkeinä Päijänne ja Pyhäjoki. Ennakkoluulottomasti tulisi myös pyrkiä edes osatapahtumien kuvaamiseen tarkoilla matemaattisilla malleilla. Tämä edesauttaisi varmasti tulosten hyväksikäyttöä ja samalla antaisi palautetta tutkimusten edelleenkehittämiseen.

7. K I R J A L L I S U U S

- Hyvärinen, V. 1977. Virtaama-aineiston tilastoanalyysi. III Virtaaman vuosikäyrät, IV Alivirtaaman toistuvuus, V Ylivirtaaman toistuvuus. Vesihallitus. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 22.
- Kohonen, T. 1978. Influence of sampling frequency on the estimation of soil run-off. Tiivistelmä: Havaintotiheyden vaikutuksesta maaperästä tapahtuvan huuhtoutumisen arvioinnissa. Vesihallitus. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 27.
- Kohonen, T., Hell, P., Muhonen, J. & Vuolas, E. 1978. Automaattisten veden laadun tarkkailulaitteiden käyttökokemuksia Suomessa. Vesihallitus. Tiedotus 153.
- Kyröläinen, H. 1978. Ravinteiden vaihto sedimenttien ja veden välillä Mikkelin vaikutuspiirissä olevalla Saimaalla. Vesihallitus. Tiedotus 139.
- Laaksonen, R. & Wartiovaara, J. 1973. Vesistöjen veden laadun muutoksista 1960-luvulla. Vesihallitus. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 6.
- Lemmelä, R. & Kuusisto, E. 1976. Ice conditions in Finland. Aqua Fennica 1975, 41 - 54.
- Meybeck, M. 1972. Bilan hydrochimique et géochimique du lac Léman. Verh. Int. Ver. Limnol. 18: 442 - 453.
- 1977. Dissolved and suspended matter carried by rivers: composition, time and space variations, and world balance. Kirjassa: Interactions between sediments and fresh water (toim. H.L. Golterman), 25 - 32.
- Wartiovaara, J. 1975. Jokien ainevirtaamista Suomen rannikolla. Vesihallitus. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 13.

Insinööritoimisto Maa ja Vesi Oy:

Vesistötarkkailun kehittäminen

Selvityksen ovat laatineet

MML Jyrki Wartiovaara

DI Pentti Lahti

SISÄLLYSLUETTELO

1.	YLEISTÄ	37
2.	VESISTÖTARKKAILUN TAVOITTEET	37
2.1	Perus- ja trenditietojen hankinta	37
2.11	Koko maata koskevat seurantatutkimukset	37
2.12	Vedenhankintaan liittyvät tutkimukset	38
2.13	Jätevesien johtamiseen liittyvät velvoitetutkimukset	39
2.14	Muita vesien käyttömuotojen palvelevat selvitykset	40
2.2	Tulosten käsittely ja ennusteiden laadinta	40
2.21	Suunnittelutarve	40
2.22	Ennusteiden ajallinen kantavuus	41
3.	VESISTÖTARKKAILUN TOTEUTTAMINEN	42
3.1	Havaintopaikat, havaintotiheydet ja mittaustarkkuudet eri tavoitetasoilla	42
3.11	Periaatteet	42
3.12	Tietyn fysikaalisen tai kemiallisen ominaisuuden vaihtelu	42
3.13	Havaintopaikat	44
3.14	Havaintotiheydet	46
3.15	Jaksollisen vaihtelun vaikutus havaintotiheyksiin	47
3.16	Epäsäännöllisen vaihtelun syyt ja yhteys havaintotiheyksiin	49
3.17	Mittaustarkkuudet eri tavoitetasoilla	50
3.2	Mitattavat fysikaaliset ja kemialliset parametrit	52
3.21	Happipitoisuus, lämpötila ja pH	52
3.22	Typpi yhdisteet ja fosfori	52
3.23	Raskaat metallit liuenneena, sedimentissä ja eliöstössä	53
3.24	Muut	53
3.3	Biologisten tekijöiden seuranta	54
3.31	Plankton ja kasvillisuus	54
3.32	Kalat	55
3.33	Biosidit ja hitaasti hajoavat orgaaniset jäämät	56
3.34	Mikrobiologiset parametrit	56
3.4	Humusaineiden merkitys vesistötarkkailussa	56

4.	HYDROLOGISTEN TEKIJÖIDEN VAIKUTUS	57
4.1	Valunnan muodostuminen, viipymät ja veden liike erilaisissa vesistöissä	57
4.11	Yleistä	57
4.12	Valunnan muodostuminen	58
4.13	Viipymät ja veden liike	70
4.2	Säännöstelyn ja vesistönjärjestelyn vaikutukset veden laatuun	77
4.3	Vesistötarkkailussa huomioonotettava hydrologiset parametrit	82
4.31	Havaittavat ja tilastolliset parametrit	82
4.32	Mitattavat ja laskennalliset parametrit	83
5.	TULOSTEN KÄSITTELY JA KÄYTTÖ	83
5.1	Tietojen kokoaminen ja tallentaminen eri tavoitetasoilla	83
5.11	Laboratorio- ja kenttätulosten rekisteröinti manuaalisessa tarkkailussa	83
5.12	Tulokset tietokantojen osana	84
5.2	Yhteenvedojen laadinta eri tarkoituksiin	84
5.3	Ennusteiden laadinta ja mallisovellutusten mahdollisuudet	85
6.	EHDOTUS VESISTÖTARKKAILUN KEHITTÄMISEKSI	86
6.1	Nykytilanne	86
6.2	Ehdotukset	86
7.	KIRJALLISUUSLUETTELO	89

1. YLEISTÄ

Vesihallitus ja Insinööritoimisto Maa ja Vesi Oy ovat sopineet, että viimeksi mainittu laatii selvityksen vesistötarkkailun kehittämistä. Työ liittyy osana Kansainvälisen Jälleenrakennus- ja Kehityspankin edellyttämään tutkimusprojektiin. Selvitys kattaa osan vesistöjen tilan tarkkailujärjestelmän kehittämistä koskevasta osaprojektista. Kysymys on lähinnä konventionaalisten tarkkailumenetelmien kehittämismahdollisuuksista vesistöissä. Jotta työ liittyisi luontevasti laajempaan kokonaisuuteen, on sivuttu myös tietojen käsittelyä, ennusteita ja mallitekniikan mahdollisuuksia. Näiden yksityiskohtaisempi selvittely sisältyy muihin projektin osatehtäviin.

Toinen luku koskee vesistötarkkailun tavoitteita, kolmas nykyisiä toteuttamistapoja. Mittaustulosten tulkinta vaatii paneutumista vesistön tapahtumakulkuun systeeminä, jolloin keskeinen vaikuttaja on veden liike. Neljäs luku koskeekin hydrologisten tekijöiden vaikutusta veden laatuun, täsmällisemmin laatuhavaintoihin. Viidennen luvun aiheena on tarkkailutulosten hyväksikäyttö. Näiden pohjalta on lopuksi tehty muutamia ehdotuksia.

2. VESISTÖTARKKAILUN TAVOITTEET

2.1 PERUS- JA TRENDITIETOJEN HANKINTA

2.1.1 Koko maata koskevat seuranta tutkimukset

Suomessa ryhdyttiin vesistöjen veden laadun systemaattiseen seurantaan vuonna 1962, jolloin alan viranomaisorganisaation toiminta käynnistyi. Sitä vanhemmat tiedot koskevat kertaluonteisia kartoituksia tai suppeaa aluetta. Käytännön syystä tutkimuksen painopiste on ollut tiheään asutuilla seuduilla, joilla vesien käyttötarve on suhteellisesti suurin. Näiden seuranta tutkimusten tuloksia on julkaistu ja käsitelty useassa yhteydessä. Koko maata koskevien seu-

rantatutkimusten tavoitteena on perustietojen kokoaminen tärkeän luonnonvaran - vesien - käyttöä varten. Tässä mielessä tavoitteet ja käyttö on ymmärrettävä laajasti samoin kuin tehdään muita luonnonvarojamme koskevassa tutkimustoiminnassa.

Viranomaisorganisaation ylläpitämän vesistötarkkailun tulokset muodostavat keskeisen aineiston sellaisia vesistöjen käyttöhankkeita suunniteltaessa, joissa veden laadulla on merkitystä. Näihin tuloksiin vedotaan myös hankkeiden oikeudellisia edellytyksiä tai veden laadussa aiheutettuja muutoksia punnittaessa. Tulosten perusteella voidaan myös todeta ja toisinaan ennakoida muutokset, jotka vaativat toimenpiteitä. Koko maata koskevien seurantatutkimusten tavoitteet voidaan siis nähdä kahtalaisina:

- A. Vesistöjen tehokkaaseen käyttöön tarvittavien tietojen tuottaminen siltä osin kuin niitä ei muualta saada.
- B. Vesistöjen käyttökelpoisuuden säilyttämiseksi tarvittavien tietojen tuottaminen ja siihen liittyvä valvonta.

Molempiin näkökulmiin sisältyy myös tarve selvittää niitä tekijöitä ja lainalaisuuksia, joista veden laatu riippuu. Vesiensuojelun tavoitteet on määritelty yksityiskohtaisemmin julkaisussa Vesiensuojelun periaatteet vuoteen 1985 (Vesihallitus 1974).

2.12 V e d e n h a n k i n t a a n l i i t t y v ä t t u t k i - m u k s e t

Vedenhankintaan ja toisaalta jätevesien vaikutuksen seurantaan kohdistuvaa vesistötarkkailua on vaikea käsitellä erikseen siksi, että raaka-veden laadun seurantarpeesta osa on juuri jätevesein aiheuttamaa.

Yhdyskuntien vedenhankinnan vaatimien vesistötutkimusten eritteileminen on todettu hankalaksi aikaisemmissakin yhteyksissä (YVY-projekti 1976). Teollisuuden vedenhankintaa palveleva vesistötarkkailu muotoutuu vielä enemmän tapauskohtaisesti. Tavoitteet voidaan hahmottaa vedenhankinnan neljän keskeisen vaiheen kannalta:

- A. Tiedon hankinta sopivien raakavesilähteiden valintaa varten.
- B. Raakaveden laadun seuranta siltä osin kuin tarkkailu ei ole mukavammin hoidettavissa puhdistuslaitoksella.
- C. Vedenottovesistön tilan seuranta siinä tapahtuvien muutosten ennakoimiseksi ja paljastamiseksi.
- D. Vedenottovesistön kunnostamiseen tai raakaveden puhdistusprosessin kehittämiseen liittyvä tarkkailu.

Luetellut tavoitteet menevät jonkin verran limittäin eikä kertaluonteista suunnittelua palvelevia tutkimuksia voitane kiistatta käsitellä tarkkailu-otsikon alla. Tässä yhteydessä nimenomaan suunnittelutarpeen huomioon ottaminen on perusteltua, koska suunnitteluvaiheessa tehdään kantavimmat taloudelliset ratkaisut ja toisaalta vesihuollon suunnittelu on tekniikan ja veden tarpeen kehittyessä luonteeltaan enemmän tai vähemmän jatkuvaa.

2.13 J ä t e v e s i e n j o h t a m i s e e n l i i t t y v ä t v e l v o i t e t u t k i m u k s e t

Velvoitetutkimusten tärkein tavoite jätevesien osalta on kiteytetty Vesihallituksen julkaisussa 17 (Vesihallitus 1976 a) seuraavasti:

"Velvoitetarkkailun tärkeimpänä tavoitteena on selvittää vesistöön kohdistuvan jätevesikuormituksen laatu ja määrä, kuormituksen vaikutukset sekä vesistön jätevesikuormituksen vähentämiseksi suoritettujen toimenpiteiden riittävyys. Saatuja tuloksia voidaan käyttää hyväksi toimenpiteestä aiheutuvia vahinkoja arvioitaessa ja kompensatioita harkittaessa."

Jätevesien laadun ja määrän tarkkailua käsitellään toisissa yhteyksissä. Esillä olevaan vesistötarkkailuun kuormitustiedot vaikuttavat varsinkin veden laatumuutosten nopeutta ja laajuutta ennakoitaessa. Ekologisissa malleissa niitä tarvitaan myös.

2.14 Muuta vesien käyttömuotoja palvelevat selvitykset

Tarkkailun ja tarkkailutietojen tarvetta esiintyy myös seuraavilla vesistöjen käytön aloilla:

- Vesistöjen virkistyskäyttö
- Kalastus
- Kastelu
- Liikenne, voimatalous, uitto ym. toiminnot, jotka eivät aseta mainittavia vaatimuksia veden laadulle.

Vesistöjen virkistyskäyttö ja kalastus ovat suuresti riippuvaisia paitsi veden laadusta, myös vesistön tuotantobiologiasta ja ekologisista muu-
tuoksista. Alueilla, joilla kastelun tarve tulee olemaan suuri, heijastuvat kasteluveden laatuominaisuudet puolestaan viljelysten tuotantobiologiaan. Näiden kolmen käyttömuodon suunnitteluun ja toteutukseen liittyy merkittäviä taloudellisia arvoja ja kehitysmahdollisuuksia, jotka vaativat seikkaperäisempää tarkastelua kuin mihin tässä raportissa on mahdollista ryhtyä. Seuraavat tavoitteet onkin nähtävä lähinnä ajankohtaisina poimintoina vesistötarkkailun kentästä:

- Kalaston ja kalastuksen kehittämiseksi tarvittavien tietojen hankinta
- Vesistön uimakelpoisuuden ja rantamaiden arvon arviointiin tarvittavien tietojen hankinta
- Tietojen kokoaminen vesistön tuotantobiologian hahmottamista ja kuvaamistavarten, esimerkiksi kunnostamisen edellytykset
- Vesistön soveltuvuutta kasteluveden ottopaikaksi koskeva seuranta

Vesistötarkkailun tavoitteita voitaneen määritellä laajemmin tai edellä esitetystä poikkeavin asiaryhmittelyin. Tässä on yksinkertaistettu tarkkailun tavoitteita.

2.2 TULOSTEN KÄSITTELY JA ENNUSTEIDEN LAADINTA

2.21 Suunnittelutarve

Tarkkailutuloksia käsiteltäessä ja käytettäessä tavoitteet koskevat paitsi

si tiedon sisältöä ja mekitystä, myös sen tarkkuutta, luotettavuutta, esitystapaa ja saatavuutta. Karkeasti vaatimukset voidaan esittää seuraavasti:

- Tietoja tulee olla riittävästi nykytilanteen ja siihen johtaneen kehityksen kuvaamiseksi, jotta niiden perusteella kyetään arvioimaan tulevaa kehitystä ja tarvittaessa toimenpiteiden vaikutusta.
- Tiedon tulee olla sisällöltään muuttumatonta, parametrien ja menetelmien yksikäsitteisesti määritellyt. Tämä vaatimus ei kuitenkaa saa estää tarkempien tai tehokkaampien menetelmien kehittämistä.
- Kuhunkin havaintosarjaan tulee liittyä riittävät tunnistustiedot ajankohdan, paikan, kohdeympäristön, havainto-olosuhteiden, havaintajan ja mittauksen tarkkuuden osalta.
- Tietojen tulee olla joustavasti ja kyllin tuoreina tarvitsijan ulottuvilla, suurten aineistojen automaattiseen tietojenkäsittelyyn soveltuvassa muodossa.

Suunnittelutehtävät ja näiden tavoitteiden tulkinta vaihtelevat tilanteen mukaan. Suomessa tulkintaan vaikuttaa paljolti kohdeympäristö. Tarkkailuntoteutustapa ja vaatimukset riippuvat siitä, onko kysymyksessä järvesistö, jokivesistö vai meren rannikko. Veden laadun vaihtelua tilastollisena ilmiönä määräävät tekijät poikkeavat näissä ympäristöissä toisistaan. Vastaavasti vedestä, pohjasedimentistä tai biologisesta materiasta tehtävien havaintojen käsittely vaatii omat menetelmänsä.

2.22 Ennusteiden ajallinen kantavuus

Yksinkertaisimmat vesistötarkkailun tuloksiin perustuvat ennusteet ovat trendiennusteita. Käytäntö on osoittanut niiden soveltuvan muutosten paljastamiseen, mutta kantavuus ennusteina on usein lyhyt. Ennustavuutta voidaan parantaa muuttamalla havaintotiheyksiä ja ottamalla mukaan ennakoarvioita tai vaihtoehtoja, jotka koskevat veden laatua ja vesistön tilaa määrääviä tekijöitä. Tällöin lähestytään mallitekniikkaa. Tarkkailun tavoitteiksi tässä suhteessa voidaan ottaa

- Havaintopaikkojen, havaintotiheyksien ja mittaustarkkuuksien valinta ennakoitavan aikajänteen tai käytettävän mallin vaatimalla tavalla.
- Tuloksissa ilmenevän vaihtelun luonteen selvittäminen, jos mahdollista tärkeimpien ulkoisten vaikuttajien erittely.

Suomessa veden laatua määräävät paljolti hydrologiset tekijät, joiden vaikutusta tarkastellaan jäljempänä erikseen.

3. V E S I S T Ö T A R K K A I L U N T O T E U T T A M I N E N

3.1 HAVAINTOPAIKAT, HAVAINTOTIHEYDET JA MITTAUSTARKKUUDET ERI TAVOITETETASOILLA

3.11 P e r i a a t t e e t

KVT-projektin ohjelmaan kuuluvassa aikaisemmassa raportissa "Suomen vesistöjen erityispiirteiden aiheuttamista ongelmista vesien tilan tarkkailussa" (Muhonen, 1976) on esitetty katsaus näytteenottoajankohdan, näytteenottotiheyden, näytteenottopaikan, näytetyypin sekä parametrien ja menetelmien valinnan periaatteisiin. Vesistön tilan tarkkailulle ei voida antaa mitään yleistä kaavaa. Tavoiteltu informaatio määrää tutkimusjärjestelyt.

3.12 T i e t y n f y s i k a a l i s e n t a i k e m i a l l i s e n o m i n a i s u u d e n v a i h t e l u

Tiettyä parametria koskevan havaintojoukon tilastollinen vaihtelu on jaettavissa kolmeen osaan:

1. Olosuhteiden määräämästä taustasta riippuva vaihtelu, jota yleensä pyritään tutkimaan
2. Ns. satunnaisista tekijöistä johtuva vaihtelu
3. Mittaus- ja koevirheistä johtuva vaihtelu

Olosuhteiden määräämää vaihtelua voidaan tuloksia hyödynnettäessä tul-

kita laskemalla keski- ja hajontalukuja tai tarkastelemalla havaintosarjoja ajan funktiona. Hajontalukujen paljastamaa kokonaisvaihtelua voidaan edelleen selittää muuttujilla, jotka määräävät veden laatua tai voidaan tarkastella laatuparametrien välisiä yhteyksiä. Satunnais- ja virhevaihtelu sisältyvät jäännösvaihteluun, jota ei osata tai haluta selittää. Tämän vaihtelukomponentin suhteellinen suuruus määrää tuloksista tehtäviin päätelmiin sisältyvän riskin. Riskin suuruus, so. päätelmien luotettavuus on erilainen ennusteissa ja havaintojakson aikana sattuneita tapahtumia tarkasteltaessa.

Edellä sanottu koskee sellaisia kvantitatiivisesti mitattavissa olevia ominaisuuksia, joita kuvaavat mittaluvut jakautuvat osapuilleen jonkin tunnetun tilastollisen jakautuman mukaisesti. Olosuhteiden, esimerkiksi ihmisen tai sään vaikutusten muuttuessa tästä ei ole mitään varmuutta. Päinvastoin tiedämme, että virtaussuhteiden muuttuminen, likaantuminen tai valuma-alueen käyttötapojen pysyvät muutokset aiheuttavat toisaalta muutoksia vesistön veden laatua kuvaavien mittalukujen perustasossa, toisaalta niiden tilastollisessa vaihtelussa ja laatuparametrien keskinäisissä riippuvuuksissa. Suomen vesistöissä tämä on varsin selvästi todettavissa (Laaksonen, 1974). Tästä johtuu, että ennustavien trendien paljastaminen vaatii varsin pitkiä havaintojaksoja, vaikka luotettava tieto käynnissä olevasta veden laadun muuttumisesta saavutetaan jo muutaman vuoden aikana. Silti muutoksen syynä voi olla esimerkiksi usean vuoden sykli säätekijöissä. Lyhyehköllä aikavälillä paljastuvien vedenlaatu-trendien yleisyys Suomen vesistöissä on yllättävä (Laaksonen ja Wartiovaara 1973).

Fysikaalisia ja kemiallisia laatuparametreja tarkasteltaessa sivuutetaan tässä ns. ei-parametriset muuttujat, joita koskevia havaintoja ei voida tavalliseen tapaan ilmoittaa mittaluvun ja mittayksikön tulona.

3.13 Havaintopaikat

Havaintopaikkoja samoin kuin havaintotiheyksiä tarkasteltaessa on syytä huomata, että tilastollisessa mielessä vesistötarkkailussa on tavallisesti kysymys nimenomaan näytteiden kokoamisesta, ei otannasta. Sekä paikat että ajankohdat on tapana valita tietyin perustein, jolloin havaintosarjoja luonnehtivat tunnusluvut myös liittyvät näihin tilanteisiin.

Koko maata koskevissa seurantatutkimuksissa havaintopaikkojen painopiste myötäilee asutuksen ja teollisuuden sekä siten myös vesien käytön keskittymistä. Rungon muodostavat runsaat 300 virta- ja syvännelohavaintopaikkaa. Verkostoa täydentävät vesipiirien alueilta eri perustein valitut edustavat havaintopaikat. Ensinmainitut muodostavat eräänlaisen referenssikentän, jonka näytteiden edustavuudelle ja tulosten luotettavuudelle on asettu erityisen korkeat vaatimukset. Välttämätöntä luotettavan vertailuaineiston kartuttamiseksi on myös jatkuvuus sijainnin, ajankohtien ja menetelmien suhteen.

Vedenhankintaan liittyvissä tutkimuksissa havaintopaikat on tapana sijoittaa suunniteltavan tai jo käytössä olevan vedenottopaikan välittömään läheisyyteen ja tästä ylävirtaan päin. Vedenottovesistön valintaa palvelevissa tutkimuksissa on tapana rajata kenttää jo esisuunnitteluvaiheessa siten, että laadun puolesta tutkittaviksi jäävät ainoastaan veden riittävyys ja rakennuskustannusten puolesta kilpailukykyiset kohteet. Tavallisesti riittää kunkin kohteen arvioimiseen yksikin edustava havaintopaikka, järvissä on syytä tutkia myös lähimmän pääsyvänteen olosuhteet.

Raakaveden laadun seuranta on tavallisesti mukavinta toteuttaa vesilaitoksella. Vesistön tarkkailuun joudutaan kun

- vesistön tila uhkaa muuttua tai veden laadussa ilmenee puhdistusprosessiin vaikuttavaa kausivaihtelua
- vedenottovesistön lähivaluma-alueella voi tapahtua tai on tapahtunut onnettomuus, joka uhkaa veden laatua
- vedenottovesistöön johdetaan vettä muualta ja halutaan tehdä se laadun puolesta otollisimpina ajankohtina.

Näissäkin tapauksissa tullaan yleensä toimeen parilla edustavalla havaintopaikalla.

Vedenottovesistön kunnostamiseen tai raakaveden puhdistusprosessin kehittämiseen liittyvässä tarkkailussa on aiheellista turvautua riittävän monelta havaintopaikalta koottuihin tietoihin. Sedimentin ja eliöstön tutkiminen tulee kuvaan. Planktonitutkimukset ovat keskeisiä myös edellä käsitellyissä vedenhankintaan liittyvissä tarkkailuissa haju- ja makuhaittojen ehkäisemiseksi sekä yleensäkin vesistön tuotannon ja tuotantotyyppin kuvaamisessa.

Jätevesien johtamiseen liittyvissä velvoitetutkimuksissa on kysymys nimenomaan tietyn kohteen vaikutusten tarkkailusta. Havaintopaikkoja tarvitaan vähintään kaksi, purkupaikan ylä- ja alapuolella. Havaintopaikkaverkko ulottuu likaantumisen uhkaamalle alueelle siten, että mukana on myös puhtaalle alueelle jäävä vertailupiste. Muiden vesistön veden laatua muuttavien hankkeiden vaikutusten tarkkailu samoin kuin hakemuksiin liittyvät selvitykset toteutetaan soveltuvin osin samoilla periaatteilla.

Havaintopaikkojen valintaan vaikuttavia yleisiä näkökohtia:

- Virtaaman, järvissä myös vedenpinnan korkeuden mittauspaikan sijainti lähellä on eduksi.
- Jokivesissä on hyvä valita tehokkaasti sekoittunut poikkeileikkaus.
- Järven tilasta saadaan paras kuva syvänteen kohdalta. Virtausten vuoksi syvänteen kohdalta ei kuitenkaan aina saada keskimääräistä veden laatua edustavia näytteitä.
- Toistuvissa tutkimuksissa on säilytettävä mahdollisuuksien mukaan samat havaintopaikat.

Havaintopaikkojen edustavuus kaikissa vesistötarkkailuissa liittyy läheisesti veden sekoittumiseen ja virtauksiin, joita tarkastellaan jäljempänä.

3.14 Havaintotiheydet

Manuaalisessa vesistön tarkkailussa havaintotiheys on usein ratkaiseva kustannustekijä. Ajankohtien valintaan vaikuttavia seikkoja Suomen vesissä on käsitelty monissa yhteyksissä, joten tässä lähestytään aihetta tulossarjan informaatioosisällön kannalta. Tiettyä havaintopaikkaa ja veden ominaisuutta edustavat mittaluvut muodostavat aikasarjan. Aikasarjalle on ominaista peräkkäisten havaintojen riippuvuus. Havaintointervallin ja uuden merkitsevän tiedon välistä yhteyttä on selvitetty aikaisemmassa raportissa.

Aikasarjaan sisältyvän vaihtelun muodostavat periaateessa trendi, suhdannevaihtelut, jaksolliset vaihtelut ja epäsäännölliset vaihtelut. Näiden tekijöiden erittelyyn palataan tarkkailutulosten käsittelyn yhteydessä. Havaintotiheyksien ja ajankohtien valinnassa keskeisiä ovat jaksolliset vaihtelut ja epäsäännölliset vaihtelut, jotka on hallittava trendien löytämiseksi. Vesistötarkkailussa suhdannevaihtelut voitaneen rinnastaa säätekijöistä johtuviin muutoksiin, jotka vaikuttavat usean vuoden mittaisiin jaksollisiin periodein tai tavalla, jota ei vielä seikkaperäisesti tunneta. Rajankäynti trendien ja näiden suhdannevaihteluun rinnastettavien muutosten välillä jääneekin akateemiseksi kysymykseksi, kunnes käytettävissä on nykyistä pitempiä havaintosarjoja ja sään vaihtelut tunnetaan paremmin.

Yhdistelmä tavallisimmin velvoitetarkkailussa käytetystä havaintotiheydestä sisältyy vesihallituksen julkaisuun 17 (Vesihallitus 1976 a).

"Mikäli kyseessä on pieni kuormittaja ja jätevesitarkkailun tulokset osoittavat, että vesistölle tuskin aiheutuu haittoja, vesistötarkkailu voidaan poikkeuksellisesti rajoittaa 2 - 3 vuoden välein tehtäväksi. Muissa tapauksissa vesistön tarkkailu muodostuu aina vähintään kahdesta havaintokerrasta, jotka ovat talvi- ja kesäkerrostuneisuuden ajat ja jokivesistöissä alivirtaamakaudet.

Kemiallisen tutkimuksen havaintokertojen määrään voidaan soveltaa taulukkoja 1 ja 2. Tutkimusten ajankohtia valittaessa tulee soveltaa taulukkoa 3. Kun havaintokertoja on enemmän kuin kaksi, tutkimuksia on pyrittävä ajoittamaan jokivesistöissä myös tulvakaushille ja järvissä täyskierron aikaan."

Fosforin ja biologisen hapenkulutuksen suhteen lasketun kuormituksen perusteella suositeltu tarkkailutiheys vaihtelee välillä 2 - 12 kertaa vuodessa riippuen purkupaikasta ja vesistön keskivirtaamasta. Jätevesien sisältämän epäorgaanisen kiintoaineen, metallien, suolojen tms. määrän perusteella laadittu tutkimuskertoja koskeva suositus käsittää 2 - 9 tarkkailukertaa vuodessa kuormituksen suuruudesta ja purkupaikasta riippuen. Ajankohdat vaihtelevat talvi- tai kesäkerrostuneisuuden ajankohdasta aina kuukausittain tehtävään tutkimukseen tarkkailutiheydestä riippuen.

Käytännössä tarkkailutiheys ja ajankohtien valinta perustuvat pitkälti valvontaviranomaisen kannanottoihin, jolloin myös vesistökohtaiset ja kuormittajien erityispiirteet tulevat huomioon otetuiksi. Toisinaan on esitetty kritiikkiä sillä perusteella, että suositeltu tutkimusten ajoitus soveltuu veden laadun valvontaan, mutta ei aina tuo riittävän systemaattista aineistoa veden laatua määräävän systeemin vesistökohtaisten piirteiden selvittämiseen. Kysymys lienee myös siitä, että havaintosarjat ovat toistaiseksi lyhyehköjä velvoitetarkkailujen muututtua voimakkaasti.

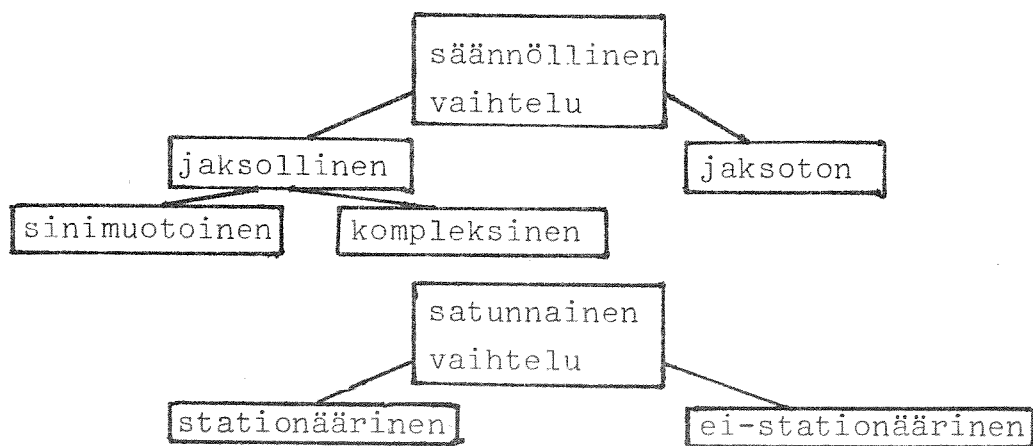
3.15 J a k s o l l i s e n v a i h t e l u n v a i k u t u s h a v a i n t o t i h e y k s i i n

Jaksollinen vaihtelu voidaan kuvata tietyn vertailutason ympärillä tapahtuvana värähtelynä, tavallisesti ei kuitenkaan sinimuotoisena vaan kompleksisena. Satunnaisiksi tulkittavien laatumuutosten kuvamisessa taas on kysymys stationäärisistä satunnaisfunktioista silloin, kun vaihtelu esiintyy tietyn perustason ympärillä. Molemmissa tapauksissa mittaustuloksia tulkitaan tiettyä muuttujaa edustavan havaintosarjan puitteissa ilman että ensimmäisessä vaiheessa tarvitsisi etsiä vaihtelun loogisia selittäjiä. Havaintosarjalle tyypillisen jaksollisen vaihtelun tunteminen ainakin osapuilleen on välttämätöntä suunniteltaessa havaintotiheyksiä perustason, trendien tai todellisen havaintotarkkuuden kannalta.

Säännöllisissä jaksollisissa muutoksissa veden konsentraatiota koskeva mittaluku ilmoittaa perustasosta lasketun poikkeaman hetkellisarvon. Tämä hetkellisarvo on mekaniikan käsitteistöä lainaten harmonisissa vaihteluissa kulmataajuuden ja poikkeaman huippuarvon so.

amplitudin funktio. Laatumuutoksen nopeus on vastaavasti poikkeaman ensimmäinen aikaderivaatta ja laatumuutosten kiihtyvyys muutosnopeuden ensimmäinen aikaderivaatta tai poikkeaman toinen aikaderivaatta. Puhtaan harmonisen värähtelyn voimakkuutta kuvaava huippuarvo soveltuu heikosti konsentraatiotietojen käsittelyyn, sen sijaan keskiarvo ja ns. tehollisarvo tulevat kysymykseen. Vesistöjen veden laatutietoja käsiteltäessä on onnistuttu kuvaamaan jaksollista vaihtelua edellä esitettyyn tapaan myös muiden taustamuuttujien kuin ajan suhteen. Taajuusanalyysin perusteella suunnitellaan tiettyyn havaintopaikkaan ja laatumuuttujaan so-
piva havaintotiheys, nimenomaan jaksollisten vaihtelujen kannalta.

Tarkastelu voidaan täsmentää seuraavin asetelmin:



Vesistöissä vaikuttavat ilmiöt ovat toisinaan kuvattavissa useiden harmonisten muutosten yhdistelmänä. Yhden muuttujan harmoninen vaihtelu hallitaan seuraavin kaavoin:

$$f = \frac{1}{T}$$

f = taajuus

T = värähdysaika

$$x = \hat{x} \sin \left(2\pi \frac{t}{T} \right)$$

x = hetkellisarvo

$$= \hat{x} \sin (2\pi f t)$$

\hat{x} = huippuarvo (amplitudi)

$$= \hat{x} \sin \omega t$$

ω = kulmataajuus

$$v = \frac{dx}{dt} = \omega \hat{x} \cos (\omega t)$$

v = muutosnopeus

$$= \hat{v} \cos (\omega t)$$

a = kiihtyvyys

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 \hat{x} \sin (\omega t) = -\hat{a} \sin (\omega t)$$

Kompleksisen jaksollisen vaihelun voimakkuutta kuvaavat keskeisarvo ja tehollisarvo saadaan seuraavasti:

$$x_{\text{kes}} = \frac{1}{T} \int_0^T (x) dt$$

$$x_{\text{teh}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt}$$

Taajuusanalyysissä vaihtelu kuvataan useiden sinimuotoisten värähtelyjen yhdistelmänä:

$$F(t) = x_0 + x_1 \sin(\omega t + Q_1) + x_2 \sin(2\omega t + Q_2) + \dots$$

Tämä kuvaus ei merkitse, että jaksojen pituudet välttämättä vastaisivat veden laatuun vaikuttavien todellisten tekijöiden jaksollisuutta.

3.16 Epäsäännöllisen vaihtelun syyt ja yhteys havaintotiheyksiin

Satunnaiset laatuvaihtelut sisältävät sekä vesistön tapahtumiin että mittausmenetelmiin liittyviä tekijöitä. Niiden kuvaaminen on edellytys perustason jätrenditietojen luotettavuuden tai tarkkuuden arvioinnille. Toinen näiden tietojen käyttötarve avautuu vedenhankinnassa arvioitaessa ns. hälytysmahdollisuuden vaatimaa havaintotiheyttä. Ennusteita laadittaessa on otettava huomioon ekstrapoloinnista aiheutuva luotettavuusrajojen väljeneminen ja arvaamattoman, kertaluonteisen pysyvän tai tilapäisen muutoksen mahdollisuus valuma-alueen olosuhteissa.

Perustasaan ja trenditietoihin liittyvät satunnaisvaihtelua kuvaavat parametrit voivat olla tehollisarvo, amplituditodennäköisyysjakautuma, taajuuden suhteen jatkuva spektritiheys tai autokorrelaatiofunktio. Edelliset taas lähestyvät niitä menettelytapoja, joita on totuttu

käyttämään valuma- ja virtaamatietoja hyödynnettäessä.

Stationäärisen satunnaisvaihtelun kuvaamisessa ja sitä koskevilla veden laatuennusteissa voitaneen turvautua hydrologisten muuttujien hallinnassa käytettyyn tekniikkaan. Tällöin samoista paikoista määrättyinä ajankohtina tehdyt havainnot tuottavat laskettavalla todennäköisyydellä tietynsuuruisia tuloksia:

$$p(x) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{P(x) - P(x + \Delta x)}{\Delta x}$$

Tämän menettelyn käyttö vaatii useiden vuosien aikana tehtyjä systemaattisia mittauksia. Toisaalta ennakoidusta poikkeavat tulokset osoittavat vesistön veden laadun muutokset tilastollisesti testattavalla varmuudella. Käytännössä jää edelleen tutkittavaksi, johtuuko muutos laimenemis- ja sekoittumissuhteiden vain kuormitustekijöiden muuttumisesta referenssijaksoon verrattuna.

3.17 Mittaustarkkuudet eri tavoitte- tasoilille

Mittaustarkkuutta koskevat vaatimukset vaihtelevat riipuen hiukan yksinkertaistettuna seuraavista kysymyksistä:

- Aiotaanko tulokset säilyttää myöhempää käyttöä varten vai riittääkö kertaluonteinen, summittainen laatutieto
- Onko käytettävä menetelmä standardisoitu siten, että tulos on vertailukelpoinen samassa paikassa tai muilla alueilla tehtävien mittausten kanssa
- Millainen on mittauspaikalle tyypillinen laadun vaihtelu ja miten tarkasti tai miten edustavaksi havaintopaikka on rajattu ja onko kyseessä kertanäyte vai sarja
- Mikä on tutkimussuunnitelmassa tai tutkimusvelvoitteessa edellytetty tarkkuus.

Kaikissa tapauksissa tiedon mittaustarkkuudestatulee liittyä säilytetävien mittalukuihin niitä taustatietona seuraten tai siten että vakioituneen menetelmän tarkkuus on muuta tietä saatavissa. Havaintopaikan ja

ajankohdan edustavuuteen liittyvä epätarkkuus ei aina ole tällä tavoin hallittavissa.

Koko maata koskevissa seurantalutkimuksissa ja velvoitetutkimuksissa sekä näytteenottoon, näytteiden käsittelyyn että itse mittauksiin kentällä tai laboratoriossa kuuluu varsin korkea tarkkuusvaatimus, koska tuloksia tarvitaan myöhemmissä vertailuissa. Rajoittava tekijä on tavallisesti kustannus, joten tavoitetaso on syytä määritellä rutiininomaisen menettelytavan mukaiseksi. Analytiikan osalta on käytettävissä verraten hyvät tarkkuustiedot ainakin standardisoiduista menetelmistä. Näytteenottoon ja käsittelyyn liittyvistä epätarkkuustekijöistä on käytettävissä joitakin koetuloksia. Niiden suuruudesta saadaan eri tapauksissa myös maksimiarvio erittelemällä tulosten satunnais- ja virhevaihtelun suhteellista määrää.

- Yksittäisen havainnon tarkkuuden on oltava tunnettu tai ainakin arvioitavissa.
- Tihentämällä havaintoja ajan ja paikan suhteen voidaan tavoiteltu tiedon tarkkuus toisinaan saavuttaa halvemmalla kuin siirtymällä tarkempaan menetelmään yksittäisissä mittauksissa. (Erotustarkkuus/mittaustarkkuus)
- Vesistölle ominainen tutkittavan aineen pitoisuus ja sen vaihtelu suhteessa menetelmän erotustarkkuuteen määräävät, miten hitaat muutokset voidaan havaita.

Tarkkuusvaatimus siis liittyy havaintosarjoihin paremmin kuin yksittäisiin mittaustuloksiin silloin, kun puhutaan vesistötarkkailun tietotarpeesta. Yksittäisen havainnon suhteellinen tarkkuus on kuitenkin tunnettava. Sen suuruus kustannustekijänä on ainakin osittain kompensoitavissa rinnakkaismäärityksin tai soveltamalla tiheämpää ohjelmaa. Absoluuttinen tarkkuus tulee väistämättömäksi vaatimukseksi ainoastaan seurattaessa pieniä pitoisuuksia erittäin edustavalla havaintopaikalla tilanteessa, jolloin ollaan pakotettuja tyytymään harvoihin mittauksiin. Menetelmien tarkkuus vaikuttaa mm. paljastuvien trendien lukuisuuteen.

3.2 MITATTAVAT FYSIKAALISET JA KEMIALLISET PARAMETRIT

3.21 Happipitoisuus, lämpötila ja pH

Näiden parametrien sisältö (mittayksiköt) on määriteltä varsin yksittäisesti. Happipitoisuutta ja pH:ta koskevat SFS-standardit 3040 ja 3021. Kaikki kolme on totuttu lukemaan välttämättömiksi vesistötarkkailuissa. Lämpötila ja happipitoisuus on tapana määrittää tiheänä vertikaalisarjana mahdollisen kerrostuneisuuden toteamiseksi. Merkitykseltään nämä parametrit ovat niin keskeisiä, että niiden korvaaminen jollain toisella tuskin tulee kysymykseen. Hapen ohella voidaan harkita redox-potentiaal mittausta silloin, kun veden laatu tms. haittaa tavanomaista kemiallista määrittystä. Välitön hapenkulutus tulee myös kysymykseen.

3.22 Typpi yhdisteet ja fosfori

Tärkeimpinä kasvinravinteina vesistötutkimuksissa mainitut typpi ja fosfori liittyvät veden tuotantobiologiaan ja sitä kautta myös happitalouteen. Ravinnepitoisten jätevesien tai muun kuormituksen indikaattoreina molemmat on koettu tärkeiksi, vaikka määrittäminen on suhteellisen työläs ja soveltuu huonosti automaattilaitteille kentällä.

Ravinteiden problemaatiikka kattaa järven koko tuotantoketjun. Keskeisiä vesistötarkkailun kehittämiskysymyksiä ovat niiden eri yhdisteiden analysoinnin mahdollisuudet ja käyttö ekologisten mallien lähtötietoina. Jokivesistöissä viipymä on usein niin lyhyt, että tarjolla olevat ravinnemäärät eivät ehdi heijastua biologisen materian tuotantoon koko painollaan. Erityisen tärkeän ongelmakentän Suomen vesistöissä muodostaa ravinteiden kytkeytyminen humuksen hajoamiseen ja kulkeutumiseen. Kokonaisfosfori, fosfaatti, kokonaistyppe, ammonium, nitriitti ja nitraatti ovat kaikki määriteltävissä SFS-standardin tai sellaiseen tähtävään ehdotuksen mukaisesti.

Humuksen ohella ravinnepitoisuuksia koskevat tulkinnot sivuavat myös kiinteiden, elottomien ja elollisten partikkelien roolia. Vaihteleva osa ravinteista on sidottuna.

3.23 Raskaat metallit liuenneena, sedimentissä ja eliöstössä

Viime vuosina vilkastuneessa raskaita, hivenpitoisuuksina esiintyviä metalleja koskevassa keskustelussa ovat näkyvimmin olleet esillä sinkki, lyijy, kupari, kromi, elohopea, nikkeli ja kadmium. Suomen vesistöissä pitoisuudet ovat yleensä niin pieniä, että nämä aineet on ollut tapana liittää tarkkailututkimukseen ainoastaan erityisen syyn niin vaatiessa. On haluttu seurata tietyn tyyppisten teollisuusjätevesien vaikutusta tai varmistua raakaveden kelpoisuudesta.

Nämä samaan ryhmään viedyt metallit käyttäytyvät eri tavoin jäteveden ja talousveden puhdistusprosesseissa kuten vesistöissäkin. Toiset läpäisevät puhdistusprosessit melko halposti, toisilla on taipumus rikastua elolliseen materiaan. Avoin kysymys on, pitäisikö tarkkailussa valita kohteeksi lähinnä sedimentti, elolliset partikkelit vai vesi. Nähtävästi tilanne vaatii eri kehitysvaiheissa vaihtelevaa suhtautumista. Metallien kohdalla heijastuu erityisen selvästi ns. diffuusin likaantumisen aiheuttama tarkkailuongelma. Veden laadun voidaan todeta muuttuvan ilman että onnistuttaisiin osoittamaan tiettyä lähdettä.

Suomessa myös raudan ja mangaanin määrittäminen kuuluu melko usein vesistötarkkailun ohjelmaan. Niillä on varsin selvät yhteydet paitsi raakaveden laatuun, myös vesistön happi-, fosfori- ja humustalouteen.

Metallimääritysten sisältö laatumuuttujina on ainakin teoriassa varsin selvä. Suomen vesistöissä tavanomaiset pitoisuudet ovat liian pieniä yksinkertaisille automaattimittareille. Tarkkailun tarve on ilmeisesti varsin paikallinen, mutta toisaalta puuttuu perustietoa vallitsevista perustasoista, trendeistä ja hivenmetallien roolista luonnon-taloudessa. Yhteydet vesiympäristön, ilmakehän, sedimentin ja veden käyttäjien välillä ovat ainakin paikoitellen vailla varsin välttämättömyyttä tarkkailua ja perustietoa.

3.24 Muut

Tuore yhteenveto eri parametrien roolista vesistötarkkailussa sisältyy KVT-projektin raporttiluonokseen "Suomen vesistöjen erityispiir-

teiden aiheuttamista ongelmista vesien tilan tarkkailussa" (Muhonen 1976). Myös velvoitetarkkailuissa ja koko maata koskevissa seurantatutkimuksissa yleisistä parametreista on julkaistua tietoa. Tarkkailun kehittämisen kannalta on erityisen ajankohtainen hitaasti hajoavia orgaanisia jäämiä koskeva kysymys. Tarkastelun lähtökohdaksi voitaneen valita Nordforskin 12. vesitutkimussymposiumin teema "Organiska miljögifter i vatten" (Nordforsk 1976). Näiden myrkyllisten aineiden vaikutuksiin näyttää liittyvän paitsi akuutteja, myös hitaasti kehittyviä eri tasoisia populaatiodynaamisia muutoksia, joten aiheen käsittely on paikallaan biologisten tekijöiden yhteydessä.

3.3 BIOLOGISTEN TEKIJÖIDEN SEURANTA

3.31 P l a n k t o n j a k a s v i l l i s u u s

Planktontutkimukset ovat Suomessa jo perinteistä tekniikkaa erityisesti järvivesistön tilan arvioinnissa ja seurannassa. Leväkukintojen varalta on eräissä raakaveden ottovesistöissä tapana seurata planktonkuvaa. Koko maata koskevia planktontutkimuksia on toteutettu sekä sisävesissä että rannikolla. Tässä yhteydessä planktontutkimukset ovat keskeisiä lähinnä ekologisten mallien kannalta. Projektin tavoitteisiin kuuluu sellaisen mallin soveltaminen, jonka avulla voidaan ennakoida ainakin leväpitoisuuksia.

Putkilokasveja ja makroskooppisia leviä koskevat tutkimukset kuuluvat eräiden seurantatutkimusten ohjelmaan. Niiden avulla on voitu suhteellisen pienin kustannuksin seurata jätevesien vaikutusaluetta ja vaikutusastetta mm. rantavahinkojen arviointia varten. Näyttää siltä, että tarkastelu on syytä rajoittaa aina kerrallaan yhtä tiettyä vesistöä koskevaksi. Niin makrofyytti- kuin planktontutkimustenkin tulokset auttavat tietyn vesistön olojen kuvaamisessa, mutta absoluuttista veden fyysikaalis-kemialliseen laatuun verrattavaa mittaa niistä on vaikea kehittää. Näiden tutkimusten antama kuva vesistön tilasta muuttuu tavallisesti suhteellisen hitaasti, joten kenttätutkimukset on tapana tehdä usean vuoden välein.

Planktontutkimusten kehittämiseksi on tehty selvityksiä näytteenotto-
tiheyden ja ajankohtien vaikutuksesta tuloksiin. Mallien tietotarpeen

kannalta sopivimmista mittayksiköistä lienee toistaiseksi ainakin jossain määrin avoin. Mikroskooppisen tms. solulaskennan kanssa kilpailevat perustuotantokyvyn mittaukset sekä klorofyllimääritykset ja leväkasvupotentiaali (AGP). Nämä muuttujat kuvaavat kukin kasviplanktonin dynamiikan eri tekijöitä, joten kysymystä ei ole syytä asettaa siten, että esimerkiksi klorofyllipitoisuuden valinta ekologisen mallin muuttujaksi vähentäisi muiden menetelmien arvoa vesistön tilan tarkkailussa.

3.32 K a l a t

Kalataloudellinen tarkkailu kuuluu monen velvoitetarkkailun ohjelmaan. Tavallisimmat menetelmät suppeissa tutkimuksissa ovat koekalastukset ja kalastustiedustelu. Kaloja käytetään myös koeorganismeina jäteveden vaikutusalueilla. Monissa ekologisissa tuotantomalleissa kalasto on mukana tuotantoketjun korkeimpina portaina. Niinikään kaloja kuten plankton- ym. orgaanisia materiaaleja on käytetty tutkimuskohteenä seurattaessa ravintoketjussa rikastuvien aineiden vaikutusta vesistössä silloin, kun tutkittavat pitoisuudet ovat vaikeasti tavoitettavia muilla keinoin.

Vesistö tarkkailua koskevan selvityksen yhteydessä on mahdotonta käsitellä tyhjentävästi kalaston roolia. Jo kysymyksiä asetettaessa näyttäisi tarkoituksenmukaiselta laatia kalaston js siihen vaikuttavien tekijöiden suhteista kokonaan erillinen selvitys. Päävaikeus on siinä, että veden laadun, perustuotannon ja kalantuotannon yhteydet tunnetaan puutteellisesti. Kalantuotantoon vaikuttaa ratkaisevasti myös kalastuksen järjestely ja kalakantojen hoito. Tarkkailussa kaloja on mahdollista käyttää jätevesivaikutusten indikaattoreina (Poels' 1977).

Toisaalta kalaston populaatiodynamiikkaan perustuvat mallitekniikat ovat laajemmissa yhteyksissä varsin kehittyneitä ja tuottavat tarkkoja tuloksia. Kalastoon liittyy myös vesistön käyttöarvosta huomattava osa. Jos seurantatutkimuksilla pyritään hankkimaan tietoja vesistön käyttökelpoisuuden turvaamiseksi pitkällä tähtäyksellä, on otettava lukuun saaliin arvoon perustuvan kalastuksen ohella myös virkistyskalastuksen mahdollisuudet.

Edellä sanotusta käynee selville, että kalasto tulee välttämättä kuvaan kysyttäessä, mitä vaikutuksia vesistön tilan tai veden laadun muutoksilla on ihmisen kannalta. Tässä on kuitenkin tarkoituksena tarkastella kalastoa enemmän vesistötarkkailun kuin kalatalouden perustekijänä.

3.33 B i o s i d i t j a h i t a a s t i h a j o a v a t o r g a a - s e t j ä ä m ä t

Näiden parametrien asema vesistötarkkailussa on toistaiseksi vakiintumaton. Niiden välttämättömyys ja sanoma riippuvat ratkaisevasti tutkimusalueen luonteesta. Koko maata koskevat perus- ja trenditiedot lienee katsottava välttämättömäksi tausta-aineistoksi. Pienten pitoisuuksien mittauksessa materiaalina ovat usein vesistön elolliset partikkelit tai pohjasedimentit. Tarkkailutulosten tulkinnessa kysytään tietyn konsentraatiotason merkitystä. Vastausten perusteet löytyvät paljolti myrkkyjä koskevasta lainsäädännöstä ja normeista.

3.34 M i k r o b i o l o g i s e t p a r a m e t r i t

Vakiintuneita vesistötarkkailun vaatimuksia on vesistön hygieenistä tilaa ilmentävien suolistobakteerien määrittäminen. Energian ja aineiden kiertokulkua koskevissa tarkasteluissa erityisesti heterotrofisilla bakteereilla ja sienillä on keskeinen rooli. Nannoplanktonitutkimuksissa ollaan myös tekemisissä mikrobiologisten muuttujien kanssa. Tällä kentällä tapahtuvat useimmat ekologisisissa malleissa ilmenevät reaktiot. Joidenkin ongelmallisten aineiden mineralisoituminen on myös lähinnä mikrobiologinen kysymys.

3.4 HUMUSAINEIDEN MERKITYS VESISTÖTARKKAILUSSA

Suomen vesien luonnontaloutta leimaava humuspitoisuus on niin keskeinen tekijä, että se on syytä ottaa huomioon vesistötarkkailun kehittämisen kaikissa vaiheissa. Humuksen hajoaminen, sen merkitys hapen kuluttajana ja mikrobien energianlähteenä, vaikutus biologisena puskurina tai eri aineiden sitojana ja kuljettajana tulee esille. Humuksen poisto raaka-

veden puhdistuksessa sekä vaikutukset tutkimusmenetelmiin ovat Suomessa tärkeitä. Samalla sivutaan sellutuotteita valmistavan teollisuuden ja toisaalta ravinnepitoisten asumajätevesien vaikutusten tarkkailua. Humusaineiden merkitys vesistötarkkailussa näyttää jo kysymysten asetteluvaiheessa kohteelta, joka vaatii seikkaperäisempää tarkastelua kuin mihin tässä yhteydessä on mahdollisuuksia. Viipymien ja humuksen aiheuttaman kuormituksen yhteydet ovat tulleet ajankohtaisiksi arvioitaessa tekojärvien vaikutusta veden laatuun.

4. H Y D R O L O G I S T E N T E K I J Ö I D E N V A I K U T U S

4.1 VALUNNAN MUODOSTUMINEN, VIIPYMÄT JA VEDEN LIIKE ERILAISISSA VESISTÖISSÄ

4.11 Y l e i s t ä

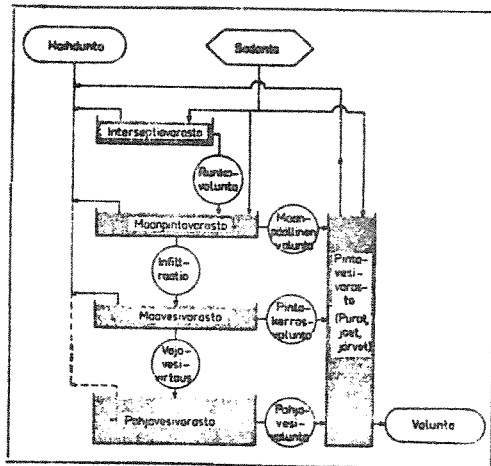
Vesistötarkkailun järjestämisessä ja tulosten käsittelyssä on oleellista tuntea ne hydrologiset lainalaisuudet, jotka säätelevät valunnan muodostumista ja etenemistä erilaisissa vesistöissä.

Tarkkailun kannalta vesistön valumasuhteet liittyvät veden laadun ja virtaaman välisen riippuvuuden selventämiseen sekä tarkkailukertojen ajoittamiseen. Vesistön valumasuhteiden yleisissä ominaisuuksia voidaan tarkastella vesitaseen ja valuntailmiön pohjalta. Eri vesistöjen valumasuhteiden yksityiskohtaisemman tarkastelun mahdollistavat vesistöissämme päivittäin suoritettut vedenkorkeus- ja virtaamahavainnot.

Valunnan etenemisen osalta on vesistötarkkailun yhteydessä käsiteltävä virtaaman etenemisen sijasta vesipartikkelin liikettä ja viipymää. Tätä tarkastelua rajoittaa maallemme tyypillisissä järville vesistöissä suoranaisten virtaushavaintojen vaikeus, virtauksien ja niihin vaikuttavien tekijöiden lukuisuus sekä epäsäännöllisyys.

4.12 Valunnan muodostuminen

Valuntailmiö liittyy osana mannerten vesien hydrologiseen kiertoon (kuva 1.).



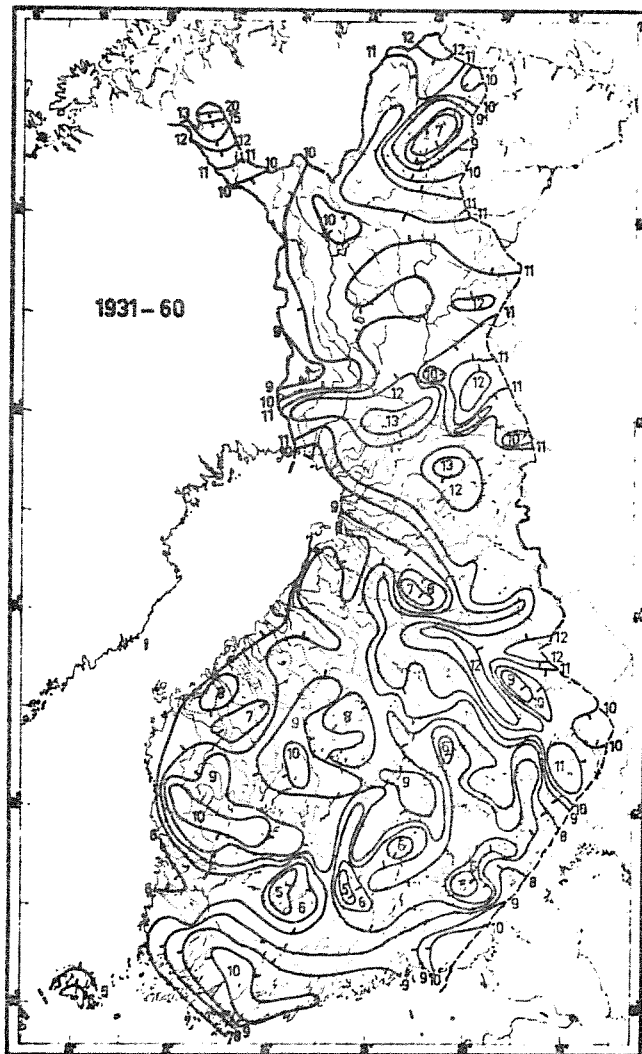
Kuva 1: Hydrologinen kierto
Mustosen (1973) mukaan

Sadannan P muuntumista haihdunnaksi E ja valunnaksi Q säätelevät lukuisat hydrologiset tapahtumat ja varastoitumiset. Tietyn aikavälin kuluessa tätä varastoitumisen (S) säätelemää muuntumista kuvaa vesitase-yhtälö

$$P = Q + E + S$$

Maamme olosuhteissa normaalijakson 1931 - 60 keskimääräinen vuotuisen valuma käy ilmi kuvasta 2. Peruseroavuus maamme eri osien välillä ilmenee pohjoisosan selvästi suurempina valunnan arvoina. Tämä johtuu pienemmästä haihdunnasta, mistä johtuvaa eroa ei maan eteläosan suurempi sadanta riitä peittämään.

Vesistön kokonaisvalunta muodostuu suoraan vesipinnalle tulevasta sadannasta ja maa-alueen valunnasta, mikä käsittää puolestaan maanpäällisen valunnan, pintakerrosvalunnan ja pohjavesivalunnan. Näiden valunnan osien suhteellinen suuruus riippuu järvisyydestä, sadannan ominaisuuksista, maaperästä, alueen pinnanmuodosta ja vuodenajasta.



Kuva 2: Vuoden keskivaluma vuosina 1931 - 60 (Vesihallitus 1972).

Sadannan erottaminen maa-alueen valunnasta tulee kyseeseen lähinnä järvisyydeltään huomattavissa vesistöissä. Erottaminen voidaan suorittaa kaavoilla

$$T = O + S$$

T = tulovirtaama, m^3/s

O = menovirtaama, m^3/s

S = varaston muutos, m^3/s

$$T = P + I - E$$

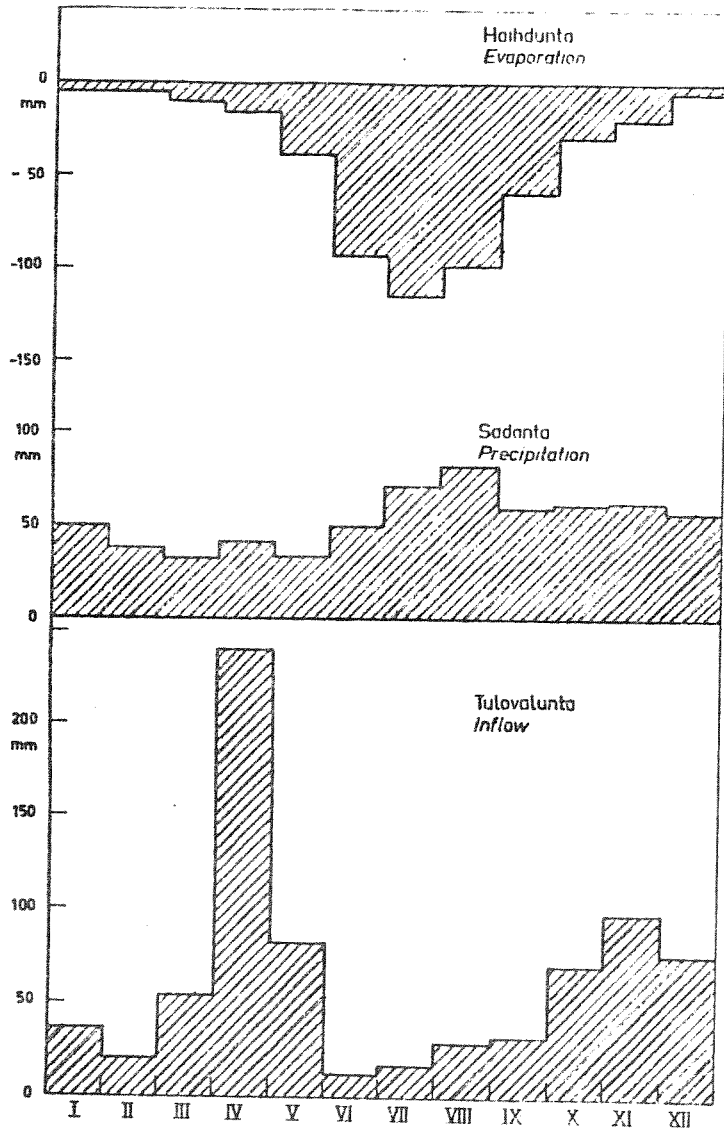
T = nettotulovalunta, $(\text{m}^3/\text{s}) \text{ mm}$

P = sadanta, mm

I = maa-alueen valunta, $(\text{m}^3/\text{s}) \text{ mm}$

E = haihdunta, mm

Esimerkkinä altaan pinnan kautta tapahtuvan veden vaihtumisen huomattavasta osuudesta voidaan esittää Säkylän Pyhäjärvellä suoritetun tutkimuksen tulos, kuva 3.



Kuva 3: Säkylän Pyhäjärven nettotulovalunnan komponentit 1938 - 73 Kuusiston (1975 a) mukaan.

Järveen sadantana tuleva vesimäärä on laskettava järveä ympäröivien sadeasemien havaintojen avulla käyttämällä esimerkiksi Thiessenin menetelmää eli monikulmiomenetelmää (Mustonen 1973). Järvestä tapahtuvan haihdunnan määrittämiseen on maassamme käytetty yleisesti yhtälöä (Kuusisto 1975 a):

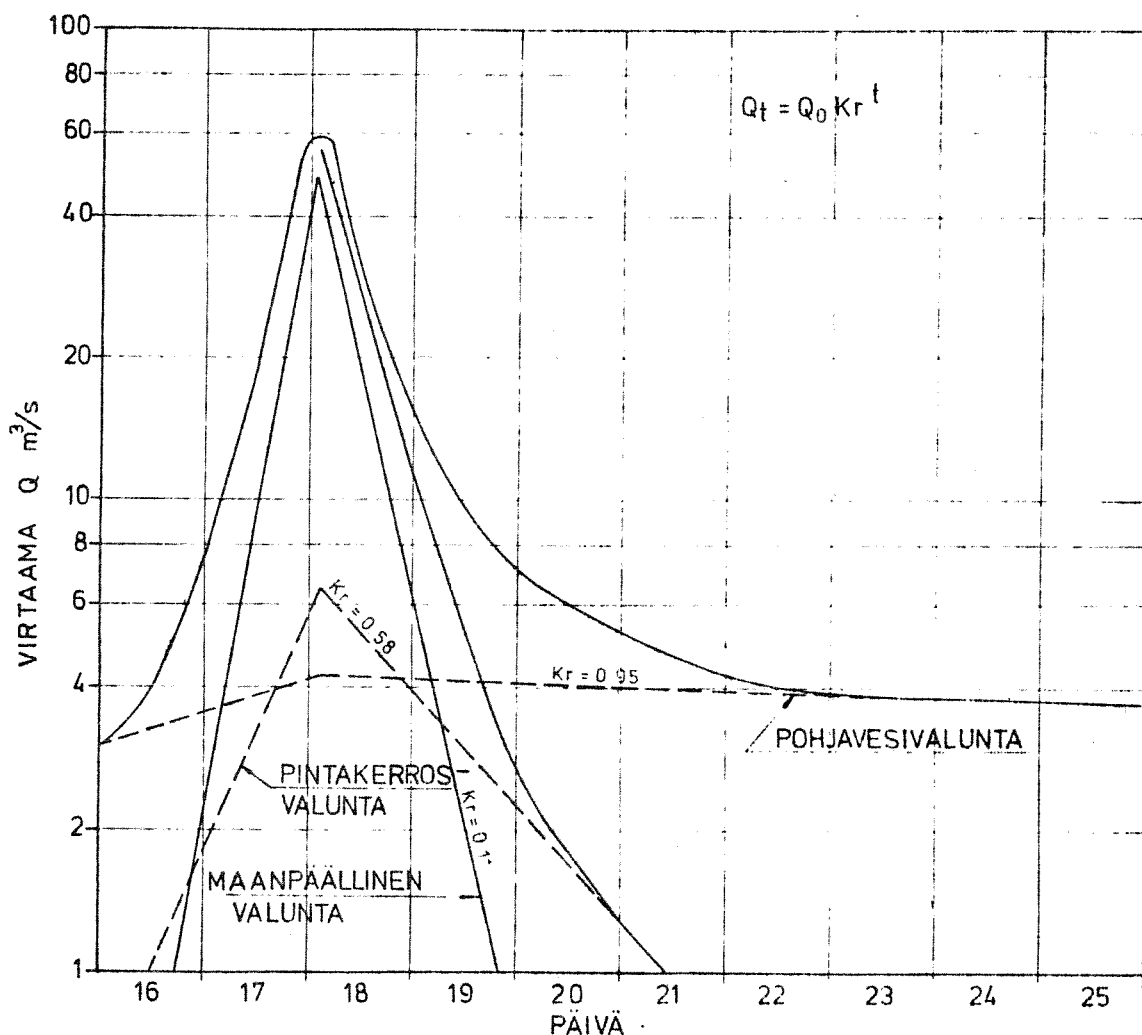
$$E = (0.15 + 0.108 V_2) (e_0 - e_2) n$$

E = haihdunta, mm/kk

- V_2 = tuulen nopeus 2 m korkeudella m/s
 e_0 = kyllästetyn vesihöyryn paine vedenpinnan lämpötilassa, mb
 e_2 = ilman vesihöyryn paine 2 m korkeudella, mb
 n = päivien lukumäärä

Maamme olosuhteissa maa-alueen valunnan eri osien erottaminen on vaikeaa, joskin on havaittavissa selvä ero savitasangoilta ja harju-alueelta tulevan valunnan välillä. Vuodenajoittain valuntamuotojen suhteet vaihtelevat siten, että maanpäällistä ja pintakerrosvaluntaa esiintyy lumen sulamisaikana keväällä, tavallista runsaampien syys-sateiden aikana syksyllä ja suojasäiden aikana talvella. Vastaavasti valunta on pääasiassa pohjavesivaluntaa normaalisateisena kesänä ja talviaikana.

Valunnan osien erottamisen vaikeudesta huolimatta voidaan kokonaisvaluntaa jossain määrin jakaa eri muotoihin virtaamakäyrää analysoimalla, kuva 4.



Kuva 4: Valunnan jakaminen eri tekijöihin (Chow 1975).

Menettely perustuu sateesta tai lumen sulamisesta aiheutuvan virtaamakäyrän laskevan osan eli ns. resessiokäyrän tarkasteluun. Tämä käyrä kuvaa purkautumista viipymältään kolmesta erilaisesta varastosta. Purkautumista kuvaava yhtälö on muotoa

$$Q_t = Q_0 K_r^t$$

Tässä Q_t on virtaama aikavälin t kuluttua virtaamasta Q_0 ja K_r on ko. varastolle tyypillinen resessiovakio. Käytännössä kaikkien kolmen valuntamuodon erottamisen sijasta on tyydyttävä yleensä pohjavesivalunnan erottamiseen.

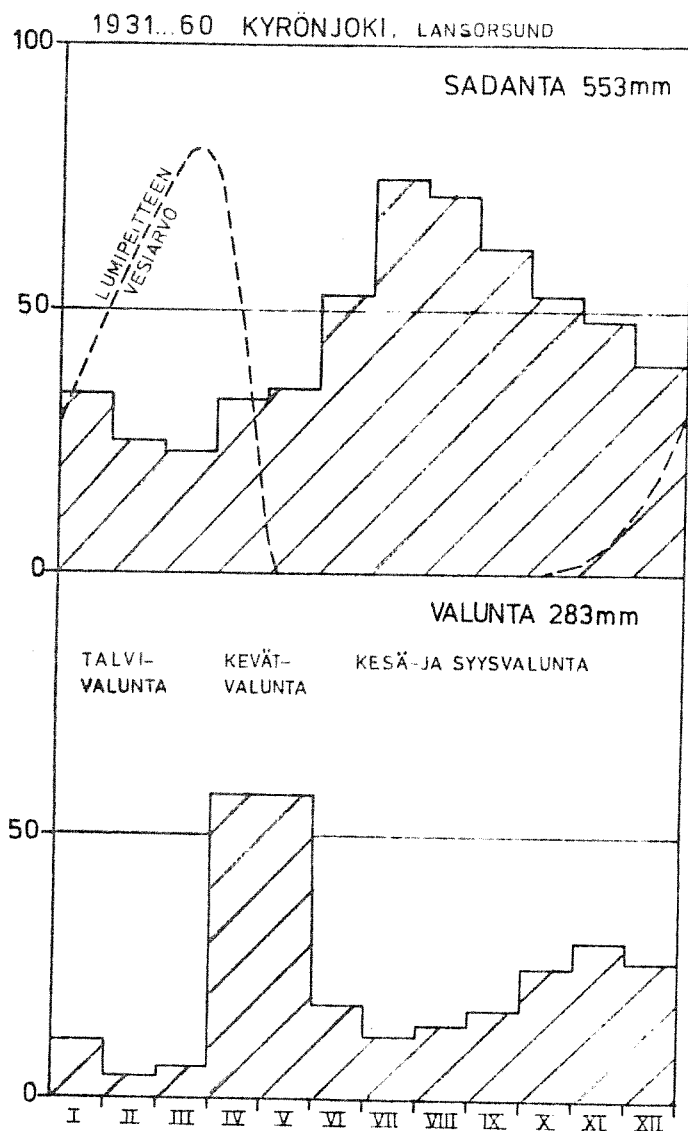
Virtaamakäyrän analysointi soveltuu käytettäväksi jokivesistöissä. Menettelyllä voidaan tarkastella eri vesistöille ja vuodenajoille tyypillistä valunnan kulkeutumismekanismia sekä täsmentää päiväittäisten virtaamahavaintojen antamaa tietoa tarkkailua edeltävän jakson valumasuhteista. Näin menettelyllä voidaan selventää valunnan muodostumisen vaikutuksia vedenlaadun ja virtaaman riipuvuuteen.

Järvivesistöissä ei menettely sovellu valunnan osien erottamiseen menovirtaamasta järveen tulevan valunnan voimakkaan säätelyn vuoksi. Maa-alueelta järveen tulevan valunnan tarkastelu tulee suorittaa tulovirtaaman suhteen edellä esitettyjen yhtälöiden pohjalta.

Valunnan osien määrittämisessä voidaan käyttää hyväksi myös hydrologisista malleista saatavaa tuloksia. Näiden mallien sovellutuksia on toteutettu Suomessa varsin vähän, mikä on johtunut vesistöjemme järvisyydestä (Kuusisto 1977).

Vuoden aikana muodostuva valunta voidaan jakaa maassamme kolmeen vaiheeseen (kuva 5.):

- kevätvalunta
- kesä- ja syysvalunta
- talvivalunta



Kuva 5: Valunnan muodostumisen vuotuinen kulku.

Valunnan maksimi ja vesistöjen ylivirtaama aiheutuu lumen sulamis- eli kevätvalunnasta. Noin kuukauden kestävä kevätvalunta päättyy maamme eteläosissa keskimäärin huhtikuun lopussa ja pohjoisosissa toukokuun lopussa. Eri vuosina lumen sulaminen saattaa sattua noin kuukautta keskimääräistä aiemmin tai myöhemmin. Kevätvalunnan suuruus on maamme lounaisosaa lukuunottamatta 30 - 50 % vuosivalunnasta. Valunnan sekundäärinen maksimi esiintyy syksyllä. Syysvalunta vaihtelee suuresti eri vuosina. Normaalisateisena syksynä valunta ei ole merkittävä, kun taas runsassateisina syksyinä esiintyy mainittu valunnan sekundäärinen maksimi.

Valunnan minimi-tilanne ja vesistöjen alivirtaama esiintyy maamme

eteläosissa kesäaikana ja pohjoisosissa talviaikana. Tämä eroavuus aiheutuu mm. lumen myöhemmin tapahtuvasta sulamisesta maamme pohjoisosassa ja lumipeiteajan pituudesta sekä kesäajan suuremmasta haihdunnasta Etelä-Suomessa.

Virtaaman vuotisen vaihtelun perusteella voidaan maamme vesistöt jakaa Suomenlahden ja Pohjanlahden rannikkoalueen pienehköihin vesistöihin, Sisä-Suomen järviolueen suuriin reittivesistöihin ja Pohjois-Suomen suuriin jokivesistöihin. Rannikkoalueen pienissä jokivesistöissä virtaaman vaihtelut ovat suuria ja vesistöissä esiintyy sekä tulvia että varsin vähävetisiä kesä- ja talvikuivakausia. Sisä-Suomen suurissa reittivesistöissä järvisyyden tasoittavan vaikutuksen vuoksi virtaamanvaihtelut ovat vähäisiä. Pohjois-Suomen suurissa jokivesistöissä ovat virtaaman vaihtelut sinänsä huomattavia, mutta toisaalta myöhäisen lumen sulamisen ja vähäisen haihdunnan vuoksi ovat kesäajan virtaamat suhteellisen runsaita.

Vesistön yli- ja alivirtaaman ajankohta vaihtelee vuosittain sekä riippuu lisäksi vesistön sijainnista ja aluetekijöistä. Vesistön tarkkailukerrat sijoittuvat yleensä juuri alivirtaama- ja tulvakausiin, joita voidaan tarkastella vesistöissä suoritettujen virtaamahavaintojen avulla. Maamme vesistöjen ominaispiirteiden selventämiseksi on seuraavassa esitetty eräiden vesistöjen virtaaman ja valumien tilastollisia perussuureita (taulukko 1.).

Taulukko 1: Eräiden vesistöalueiden pinta-ala, järvisyys ja valumat (Vesihallitus 1976 b).

Vesistö	F km ²	L %	Valuma l/s km ²		
			Keskivaluma Mq	Keskiylivaluma MHq	Keskialivaluma MNq
Vuoksi	61 275	19,9	9,3	12,0	6,0
Kymijoki	26 480	19,3	8,5	12,0	5,6
Porvoonjoki	1 135	1,7	9,1	93	0,8
Karjaanjoki	1 925	12,5	9,5	22,3	2,5
Aurajoki	730	0,0	9,9	174	0,1
Eurajoki	635	24,8	6,9	15,6	3,6
Kokemäenjoki	26 025	11,6	8,2	23,9	2,0

Taulukko 1. jatkuu

Vesistö	F km ²	L %	Valuma l/s km ²		
			Keskivaluma Mq	Keskiylivaluma MHq	Keskialivaluma MNq
Kyrönjoki	4 805	0,9	9,0	66	1,0
Ähtävänjoki	1 715	12,2	7,0	11,4	2,6
Kalajoki	2 250	2,0	8,9	82	0,4
Oulujoki	22 900	11,4	11,3	22,5	2,5
Iijoki	14 315	5,8	12,9	66	3,1
Kemijoki	50 900	2,9	11,2	66	2,4
Paatsjoki	5 250	11,6	11,6	63	3,0

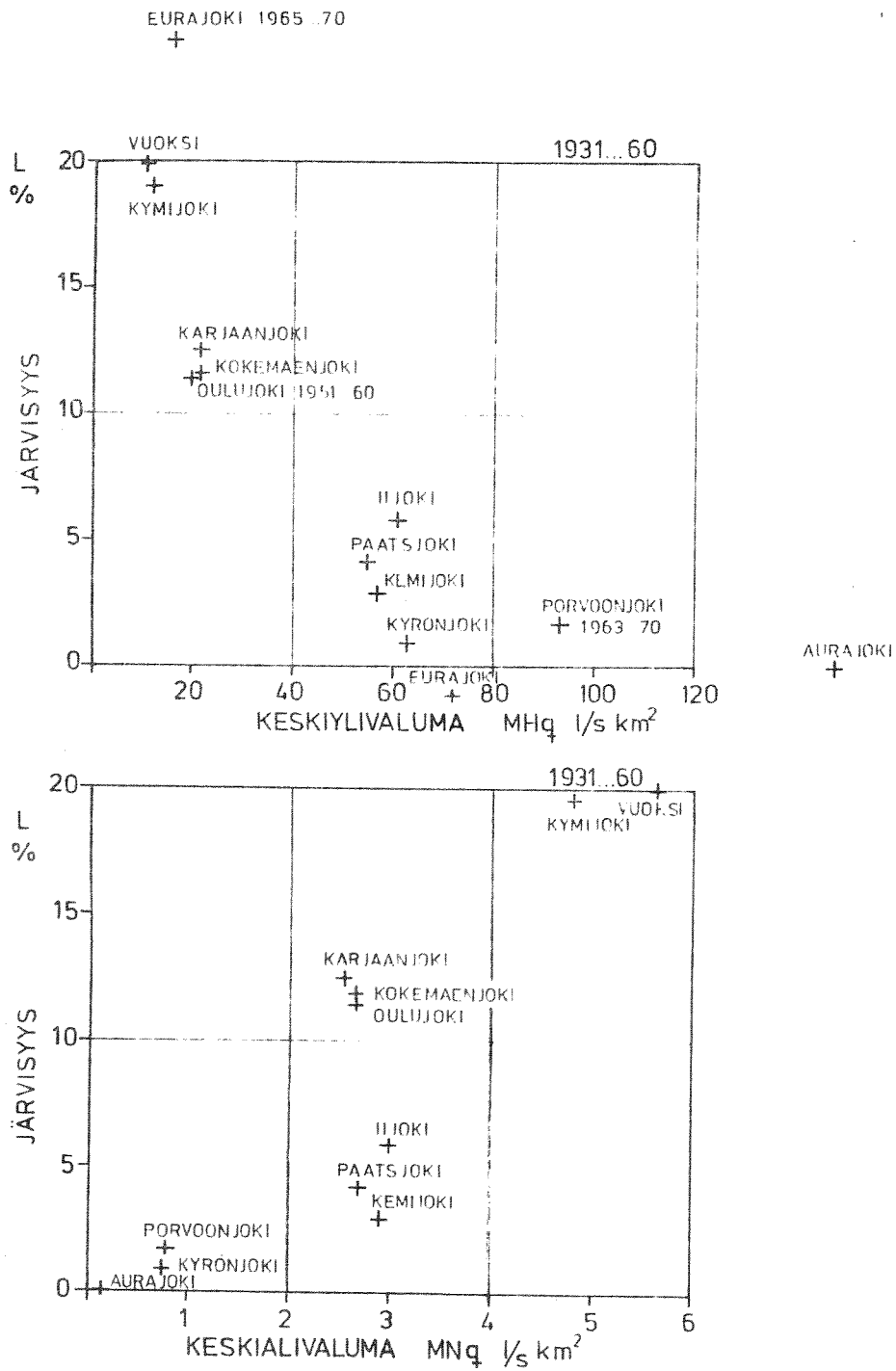
Vesistön valumasuhteita kuvaavat tilastolliset perussuureet ovat virtaamien ja valumien keski- ja ääriarvot sekä virtaamien kuukausikeskiarvot.

Yhteenvetona taulukosta 1. voidaan keskivaluman Mq, keskiylivaluman MHq ja keskialivaluman MNq arvojen perusteella esittää seuraavaa:

Keskivaluman (Mq) arvoista käy ilmi ilmastotekijöiden vaikutus pohjoisten vesistöjen selvästi suurempina keskivaluman arvoina. Vastaa- vasti järvisyyden vuosivaluntaa pienentävä vaikutus ilmenee verrat- taessa Aurajoen ja Eurajoen keskivalumia.

Vuosivalunta vaihtelee maassamme siten, että suurimman ja pienimmän vuosivalunnan suhde on noin 2 - 4. Esimerkiksi Aurajoen vesistössä kerran 20 vuodessa toistuva suurin vuoden keskivaluma on 15,2 l/s km² ja pienin vuoden keskivaluma 4,2 l/s km² (Kuusisto 1975 b).

Keskiylivaluman MHq ja keskialivaluman MNq arvoista käy ilmi vesistön järvisyyden voimakas valumasuhteita tasoittava vaikutus (kuva 6.). Ylivaluman suuruuteen vaikuttavat lisäksi mm. vesistöalueen pinta-ala, muoto, kaltevuus, maaperä ja kasvillisuus, joskin näiden alueteki- jöiden vaikutus järvisyyteen verrattuna on vähäinen. Alivaluman suu- ruuteen vaikuttavat järvisyyden lisäksi mm. pinta-ala, suot, maa- perä ja vesistön sijainti. Pohjoisten vesistöjen suuremmat alivalu- man arvot aiheutuvat suuremman keskivaluman ohella mm. valuman mini-



Kuva 6: Järvisyyden vaikutus vesistön keskiylivaluman ja keskialivaluman arvoihin.

mitilanteen ajoittumisesta talviaikana.

Virtaaman kuukausikeskiarvoista (kuva 7.) käy ilmi järvisyyden valumasuhteita tasoittavan vaikutuksen ohella kevätvalunnan ja alivirtaamakausien keskimääräinen ajoittuminen. Vuoksen vesistössä kuukausikeskivirtaamat ovat vaihdelleet vuosina 1961 - 1970 vain välillä 94 - 104 % jakson keskivirtaamasta, kun vastaavat arvot Kemijoessa ovat olleet 37 - 297 % ja Aurajoessa 10 - 417 %. Kevätvalunta on ajoittunut Aurajoessa vuosina 1961 - 1970 keskimäärin huhtikuuhun, Kyrönjoessa huhti - toukokuuhun ja pohjoisissa vesistöissä touko - kesäkuuhun. Vastaavasti alin kuukausikeskivirtaama on esiintynyt pohjoisissa vesistöissä keskimäärin helmi - maaliskuussa ja eteläisissä vesistöissä kesä - heinäkuussa, minkä ajankohdan järvisyys on siirtänyt loka - marraskuuhun.

Vesistön virtaamaa sekä suuruuden että ajan suhteen kuvaa pysyvyyskäyrä eli lukuisuuden summakäyrä. Virtaaman pysyvyys ilmaisee prosentteina vuodesta sen ajan minkä virtaama on suurempi tai yhtäsuuri kuin tietty virtaaman arvo. Esimerkkinä virtaaman pysyvyydestä on kuvassa 8. esitetty suuren reitti- ja jokivesistön sekä järvisyydeltään huomattavan ja järvettömän pienen vesistön virtaaman tyypilliset pysyvyyskäyrät.

Vesistön ylivaluman ja alivaluman todennäköisyyttä käsitellään toistuvuusanalyysillä. Tietyn havaintosarjan suuruusjärjestykseen asetetuille tapauksille lasketaan toistumisaika esimerkiksi kaavalla

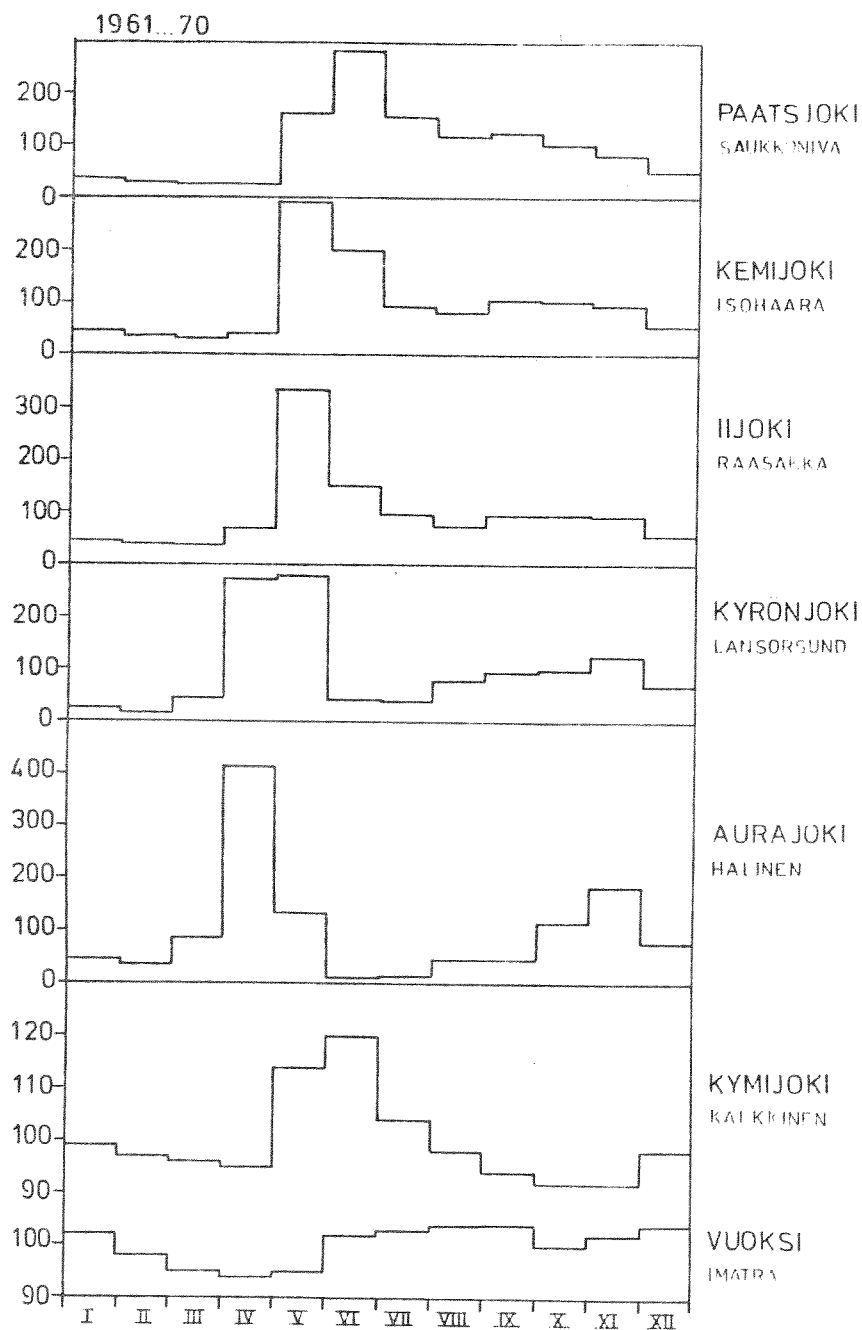
$$T_r = \frac{n + 1}{m}$$

T_r = toistumisaika (v)

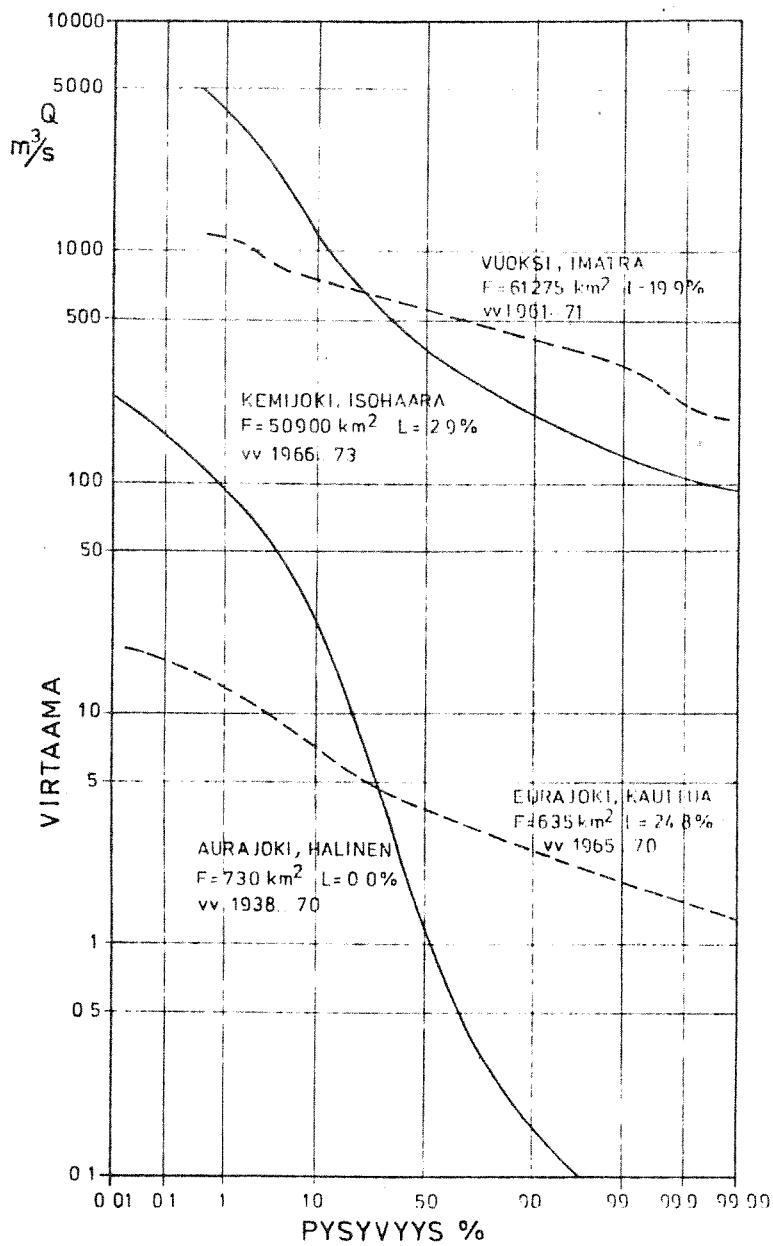
n = havaintovuosien lukumäärä

m = tapauksen järjestysluku

Toistumisaika ilmaisee kuinka usein pitkän aikavälin kuluessa tietyn suuruinen tapaus toistuu keskimäärin ja sen käänteisluku toistuvuus kuinka suurella todennäköisyydellä tapaus sattuu joka vuosi. Toistuvuusanalyysillä on maamme vesistöissä tutkittu 5 - 151 vuorokauden kesä- ja talvikuivakausien sekä pitkien 9 - 48 kuukauden kuivakausien



Kuva 7: Virtaamien suhteellisia kuukausikeskiarvoja eräissä Suomen vesistöissä.



Kuva 8: Virtaaman pysyvyys (Hyvärinen ja Gührer 1976).

keskivaluma (Kajosaari 1968). Ylivaluman osalta käsitellään yleensä suurinta vuorokausiarvoa.

Kuivakausien tarkasteluun liittyy olennaisesti sattumisajankohdan määrittely. Mainitussa tutkimuksessa on 30 vuorokauden pituisista talvi-kuivakausista sattunut yli puolet maaliskuussa. Vastaava kesäkuivakausi on ajoittunut lounaisrannikolla kesäkuuhun, eteläisellä rannikolla heinäkuuhun ja Kokemäenjoen sekä Kyrönjoen vesistöalueella elokuuhun. Huomattava järvisyys on siirtynyt Jääsjärven vesistössä 30 vuorokauden talvi-kuivakauden huhtikuuhun ja kesäkuivakauden lokakuuhun (Kajosaari 1968).

Vesistön valumasuhteiden selventämisellä edellä kuvatuilla menetelmillä voidaan arvioida tarkkailukerran vesitilanteen tyypillisyyttä. Vastaa-vasti virtaamatietojen pohjalta saadaan selvitettyä halutun virtaama-parametrin esim. 30 vrk:n kuivakauden keskimääräinen sattumisajankoh-ta sekä todennäköisyydet aikaisempien tai myöhempien ajankohtien esiinty-miselle. Näillä tiedoilla voidaan ottaa huomioon mainitut alueelliset ja vesistökohtaiset erot tarkkailun ajoittamisella sekä selvittää kes-kimääräisen tai muun kiinteän tarkkailuajankohdan antaman tiedon edus-tavuus.

Tarkkailuajankohdan ajoittaminen vuosittain määrällisesti ja ajalli-sesti vaihteleviin valunnan ääritilanteisiin edellyttää ennakkoarvioi-den käyttöä. Tässä suhteessa tulisi selvittää mahdollisuudet seurata päivittäisiä virtaamatietoja ko. aikoina tai käyttää hyväksi muiden vesistöjen käyttömuotojen tarpeisiin laadittuja ennusteita. Vaihto-ehtoisena menettelytapana tarkkailun kiinteille ajankohdille voidaan ajatella tarkkailun sitomista virtaaman kumulatiiviseen summaan. Täl-löin havainto otetaan aina kun tietty vesimäärä on ohittanut tarkkailu-kohdan. Menettelyn etuna on joustava vesitilanteen seuranta, jolloin siitä saatavat tulokset palvelisivat nykyistä paremmin ainevirtaama-laskelmia.

4.13 Viipymät ja veden liike

Valunnan etenemisen osalta on vesistötarkkailun yhteydessä käsiteltä-vä vesipartikkelin liikettä ja viipymää. Jokivesistöissä viipymä mää-

ritellään tietyn matkan virtausaikana ja järvesistössä sinä aikana minkä vesipartikkeli keskimäärin viipyy altaassa.

Jokivesistöissä virtausaika voidaan määrittää parhaiten merkkiainemittauksilla. Likimääräisten virtausaikojen määrittämiseen soveltuvat myös virtaaman etenemistä käsittelevät hydrologiset menetelmät tai hydrauliset laskelmat.

Hydrologisissa menetelmissä käsitellään virtaaman muutoksen eli yleensä tulva-aallon etenemistä mikä on uoman muodosta riippuen 1,2 - 1,7 kertaa poikkileikkauksen keskinopeutta suurempi. Näin menetelmillä saadut tulokset eivät anna oikeata kuvaa keskinopeudesta ja sitä kautta virtausajasta. Varastoyhtälöön $S = K_2 \times Q$ perustuvista menetelmistä voidaan mainita Pulsin ja Muskingummin analyttiset menetelmät, Kohlerin graafinen menetelmä (Linsey ym.1975) ja yksikkövaikutuskäyrämenetelmä (Sauer 1972).

Hydraulisissa laskelmissa määritetään vedennopeus Chezy'n tai Manningin yhtälöstä. Luonnonuomissa mainittujen yhtälöiden edellyttämä tasainen virtaus on harvinainen. Epätasaisen virtauksen laskemiseen sovelletaan laajennettua Bernoullia-yhtälöä. Tarkasteltava uoma jaetaan lamelleihin, joiden vedenkorkeudet ratkaistaan yksi kerrallaan. Tietylle virtaamalle suoritetusta laskelmasta saadaan määritetyksi virtauksen keskinopeudet, mitä arvoja voidaan käyttää virtausaikojen laskemiseen. Hydraulisten laskelmien vaatimien lähtötietojen (poikkileikkaukset) ja työläyden vuoksi eivät ne tule kyseeseen yksinomaan vesistötarkkailun tarpeisiin (Hosia 1973).

Yksinkertaisimmin jokiosan virtausaika on määritettävissä merkkiaineen avulla. Tällöin on edellytyksenä se, että aine sekoittuu tehokkaasti eikä pidäty uoman pohjaan, kasveihin tai organismeihin. Merkkiaineena on maassamme käytetty ruokasuolaa, natriumdikromaattia, rodamin B:tä, bakteriofageja ja radioaktiivisia aineita (Mustonen 1973, Kinnunen ym. 1974).

Merkkiainemittauksissa virtausaika määritellään merkkiaineen lisäyksen ja mittauskohdan osoittaman merkkiainemäärän painopisteen välisenä aikana.

Merkkiainemittauksen tuloksessa on ennen painopistettä lyhyt konsentraatiohuippu, jota seuraa loiva resessio-osa. Erot merkkiaineen kulkeutumisajassa johtuvat virtauksen horisontaalisesta diffuusiosta, eli veden erilaisesta virtausnopeudesta uoman poikkileikkauksessa. Tämä virtausnopeuden vaihtelu käy ilmi mm. siivikolla suoritetusta virtaamamittauksesta (Mustonen 1973, Kinnunen ym. 1974).

Maallemme tyypillisissä järvivesistöissä rajoittaa viipymän määrittämistä virtauksien ja niihin vaikuttavien tekijöiden lukuisuus ja epä säännöllisyys. Näitä tekijöitä ovat mm.:

- järven pinta- ja pohjavesivirtaukset
- kerrostuneisuus
- topografia
- rantaviivan muoto
- Coriolisin voima
- tulo- ja lähtöuomien sijainti
- tuulet

Mahdollisuudet ottaa kaikki tekijät huomioon vesipartikkelin todellisen viipymän määrittämiseksi ovat varsin rajallisia. Näin ollen viipymän mittana käytetään yleensä ns. teoreettista viipymää eli järven tilavuuden ja luusuan keskivirtaaman suhdetta. Todellinen viipymä on aina teoreettista lyhyempi, mikä aiheutuu siitä, että osa järven tilavuudesta on veden vaihtumisen kannalta tehotonta. Tämä johtuu kerrostuneisuudesta ja järven rantaviivan muodosta. Kesä- ja talviaikana syvemmällä olevat vesikerrokset ovat vaihtuvan vesitilavuuden ulkopuolella ja toisaalta veden vaihtuminen on tehotonta lahdissa ja sivu- selillä. Näin ollen todellinen viipymä maallemme tyypillisessä järvessä on vain 50 - 70 % teoreettisesta viipymästä (Kajosaari 1973).

Kaikkien viipymään vaikuttavien tekijöiden sijasta voidaan todellisen viipymän kertalukua koskevia tarkasteluja suorittaa laskelmilla, joissa altaan virtauksia käsitellään yksinkertaistettuina. Tällaista laskentamenettelyä on sovellettu Kokemäenjoen reittivesistössä peräkkäisten järvioltaiden veden vaihtumisnopeuden laskemisessa (Kajosaari 1963). Menettelyssä otetaan huomioon seuraavat tekijät:

- tilavuustiedot
- rantaviivan muoto
- kerrostuneisuus
- tulo- ja menovirtaamat

Laskentamenettely perustuu seuraaviin olettamuksiin:

- kevät- ja syystäyskierron aikana järven koko allastilavuus on vaihtuvaa eli tuleva vesi voi sekoittua järven koko vesimassaan
- kesästagnaation aikana on vain harppauskerroksen yläpuolinen päällysvesi vaihtuvaa vesitilavuutta
- talvistagnaation aikana on vaihtuva vesitilavuus myös yksinomaan harppauskerroksen yläpuolella, mutta on myös sivusuunnassa rajoitettu (lahdet, sivuselät)
- harppauskerroksen syvyysaseman määrittämiseksi riittää yksi edustavaan vuodenaikaan ja sääsuhteiltaan normaalina vuonna suoritettu mittaus
- kesästagnaation alku- ja päättymisjankohdat voidaan määrittää tiettyjen pintalämpötilan arvojen perusteella
- talvistagnaation kesto aika on jäätymisen ja jäänlähdon välinen aika
- horisontaalinen sekoittuminen voidaan ottaa huomioon määrittelemällä se osuus vaihtuvasta vesitilavuudesta, mikä tulovesimäärän tulee täyttää ennenkuin se alkaa poistua altaasta
- peräkkäiset tasapintaiset altaat voidaan jakaa osiin siten, että rajakohdissa (salmet) ei esiinny horisontaalista sekoittumista
- altaan vedenkorkeuden muutokset vaikuttavat vain vaihtuvaan vesitilavuuteen

Vaihtuva vesitilavuus lasketaan altaan tilavuus- ja kerrostuneisuustietojen avulla. Talvistagnaation osalta otetaan lisäksi huomioon esim. karttatarkastelun pohjalta vaihtuvan vesitilavuuden sivusuuntainen rajoittuminen. Peräkkäisissä tasapintaisissa altaita erottavien salmien virtaamia ei voida yleensä määrittää suoranaisilla mittauksilla vaan virtaamat on laskettava altaiden varastoimiskyvyn, valuma-alueiden pinta-alojen ja muualla vesistössä havaittujen virtaamarvojen avulla.

Koko tasapintaisen altaan tulovesimäärä saadaan vedenkorkeus- ja virtaamahavaintojen avulla varastoyhtälöstä

$$T = O + S$$

Osa-altaiden tulovesimäärä saadaan jakamalla näin saatu arvo altaaseen laskevien vesistöjen ja lähivaluma-alueiden pinta-alojen suhteessa. Osa-altaan tulovesimäärän ja pinta-alan perusteella saadaan ensimmäisen altaan menovirtaamaksi

$$O_1 = T_1 - S_1, \text{ jossa } S_1 = \frac{A_1}{A} S$$

Seuraavan altaan osalta on otettava huomioon

$$O_2 = T_2 + O_1 - S_2$$

Tarkempien laskelmien suorittaminen edellyttää sadanta- ja haihdunta-tietojen huomioimista yhtälön $T = P + I - E$ mukaisesti ja menettelyn soveltamista maa-alueelta tulevan valunnan I suhteen. Salmien menovirtaamien osalta oletettiin ettei näisissä rajakohdissa tapahdu horisontaalista sekoittumista. Tämän varmistaminen edellyttää virtausmitauksia, joiden tulosten perusteella voidaan korjata kerrostuneen virtaussuunnan poikkeamisen vaikutukset menovirtaamalaskelmissa (Quinn 1977).

Veden vaihtumislaskelmissa kuvataan vesipartikkelin liikettä valittavan merkkiaineen avulla. Laskelmissa määritetään aluksi se aika, jonka kuluessa horisontaaliselle sekoittumiselle asetettu ehto täytetään eli esim.

$$T_1 = a V_1$$

$$T_1 = \text{aikavälin } 0 - 1 \text{ tulovesimäärä,}$$

jossa a = tietty osuus vaihtuvasta vesitilavuudesta (esim. puolet)

$$V_1 = \text{vaihtuva vesitilavuus aikavälin } 0 - 1 \text{ lopussa}$$

Varastoyhtälö voidaan kirjoittaa aikavälille $0 - 1$ muotoon

$$S_0 - O_1 + T_1 = S_1,$$

jossa O_1 = aikavälin $0 - 1$ menovesimäärä

$$S_0 = \text{koko altaan tilavuus hetkellä } t = 0$$

Olkoon hetkellä $t = 0$ altaan vaihtuvan vesitilavuuden V_0 veden laatu C_0 . Horisontaalisen sekoittumisen oletuksen mukaan aikavälinä $0 - 1$ altaasta poistuvan veden laatu on C_0 . Varastotilan muutoksen oletettiin vaikuttavan vain vaihtuvaan vesitilavuuteen, joten laatu hetkellä 1 saadaan kaavasta

$$C_0(V_0 - V_1) + CT = C_1V_1$$

$$C_1 = \frac{1}{V_1} (C_0(V_0 - V_1) + CT)$$

Jossa C ja T ovat yhteenkuuluvia veden laadun ja tulovirtaaman arvoja sekä $T = T_1$. Laskelmia jatketaan käyttämällä uutena lähtöarvona veden laatua C_1 .

Aloittamalla laskelmat kevättäyskierron alusta on täyskierron tapahtuttua veden laatu tuntematon C_0 . Laskelmia jatkettaessa tämä tuntematon laatu C_0 häviää, koska tulevan veden laatu jatkuvasti tunnetaan.

Kerrostuneisuuden alkaessa lasketaan tämän ajankohdan t laatu koko allastilavuuden avulla

$$C_t = \frac{1}{S_t} (C_{t-1}(S_{t-1} - V_t) + CT)$$

Saatu veden laatu C_t jää alusveden laaduksi koko kerrostuneisuuden ajaksi. Täyskierron alkaessa lasketaan tämän ajankohdan veden laatu vaihtuvassa tilavuudessa vastaavasti kuin edellä. Täyskierrossa otetaan huomioon vaihtuvan vesitilavuuden ulkopuolisen veden laatu ja määrä, minkä jälkeen laskentaa jatketaan kerrostuneisuuskauden alkuun.

Peräkkäiset altaat käsitellään yksi allas kerrallaan. Ensimmäisen altaan lähtevän veden laatua käytetään seuraavan altaan tulevan veden laatuna ottamalla laskentajakson veden laaduksi jakson alku- ja loppuhetken veden laadun keskiarvo (Kajosaari 1963).

Esitetyn laskentamenettelyn lähtötietoja voidaan tarkentaa vertaamalla havaitun ja lasketun veden laadun eroja muuttujien eri kombinaatioilla. Horisontaaliseen sekoittumiseen vaikuttavien tuulivirtausten huomioimista voidaan tarkastella ottamalla tekijä a järven tuuliolosuhteista riippuvaksi muuttujaksi.

Laskentamenettelyllä saadaan määritetyksi tarkasteltavan altaan tai allasketjun virtaustapa. Laskentamenettelyä voidaan edelleen käyttää vesipartikkelin viipymän määrittämiseksi. Oletetaan että aluksi järven vesi on tasalaatuista ja tiettyinä hetkenä tulevassa vedessä tapahtuu äkillinen ja pysyvä veden laadun muutos.

Jos alkuperäisen veden laatu on C_0 ja hetkestä t lähtien tulevan veden laatu C_1 , voidaan altaasta lähtevän veden laatu esittää ajan t suhteen muodossa

$$C_t = K \cdot C_0 + (1 - K) \cdot C_1$$

Kun tekijä K tulee pysyvästi nolllaksi eli laatu C_0 ei ole vaihtuvan vesitilavuuden ulkopuolellakaan olevassa vedessä, on järven vesi täysin vaihtunut. Aloittamalla viipymän laskenta eri ajankohdista esim. kesä- ja syystäyskierron tai stagnaatiokauden alusta voidaan järveen eri aikoina tulevan vesimäärän viipymät määrittää. Soveltamalla laskelmia erilaisiin vesivuosiin saadaan edelleen viipymän raja-arvot määritetyksi.

Laskentamenettelyn yksinkertaistusten vuoksi saadut tulokset ovat viipymän kertalukua osoittavia. Menettelyn täsmentäminen voidaan suorittaa järven kerrostuneisuudesta ja virtauksista tehtyjen havaintojen avulla. Lisäksi voidaan pyrkiä käyttämään hyväksi näiden ilmiöiden kuvaamiseen kehitettyjä malleja esim. harppauskerroksen syvyysseman ja horisontaalisen sekoittumisen suhteen.

Veden vaihtumisen laskentamenettelyssä oletettiin harppauskerroksen asema samaksi kaikkina vuosina. Käytännössä tuulen aikaansaama kineettinen energia saattaa muuttua potentiaalienergiaksi aiheuttaen harppauskerroksen painumisen alaspäin. Tuulen nopeuden W suhteen painuminen vaihtelee tekijän W^3 mukaisesti (Falkenmark 1973, Quinn 1977).

Vastaavasti laskentamenettelyssä oletettiin horisontaalinen sekoittuminen voitavan ottaa huomioon osuutena vaihtuvasta vesitilavuudesta. Tämä tekijä liittyy kesästagnation aikana tuulen aiheuttamaan veden sirkulaatioon, jota kuvaamaan kehitetyissä malleissa otetaan huomioon tuuli, pohjan topografia, kerrostuneisuus ja turbulenssi (Huttula 1977).

Mainittujen mallien yleisemmälle soveltamiselle on esteenä niiden monimutkaisuus ja vaadittavien lähtötietojen puuttuminen. Näin ollen viipymän kertalukua koskevissa tarkasteluissa tulee kyseeseen lähinnä esitetty yksinkertaistettu laskentamenettely.

Viipymän merkitys korostuu maallemme tyypillisissä reittivesistöissä, joissa valunnan eteneminen on varsin hidasta. Esimerkiksi vesistön yläjuoksulla veteen joutuneet kasviravinteet saattavat aiheuttaa useammassa reitin järvestä levätuotannon lisääntymistä. Tämä vaikutus on suurin reitin yläosalla ja vähenee alaspäin siirryttäessä ravinteiden sedimentoitumisen kautta.

4.2 SÄÄNNÖSTELYN JA VESISTÖNJÄRJESTELYN VAIKUTUKSET VEDEN LAATUUN

Vesistön säännöstelyn veden laatuun kohdistamien vaikutusten kannalta voidaan vesistöt jakaa jatkuvasti sekoittuneisiin (joen) ja kerrostuviin (järvet) vesistöihin.

Joessa veden laatu riippuu keskeisesti virtaamasta veden laadun minimitalanteiden ajoittuessa alivirtaamakausiin. Järvestä veden laadun vaihteluihin liittyy vedenkorkeutta vastaava tilavuus kerrostuneisuuden jaksojen aikana sekä veden viipymä järvioltaassa. Vesistötyypin lisäksi vaikuttavat myös säännöstelykohtaiset erot veden laadun muodostumiseen.

Vesistön säännöstely käsittää varsin erilaisia hankkeita, joiden ryhmittely voidaan suorittaa pääpiirteissään seuraavasti:

- luonnonmukainen järvisäännöstely
- tehokas järvisäännöstely
- tekoaltaat

Luonnonmukainen järvisäännöstely on maamme vesistöjen ominaispiirteet huomioiden yleisin nykyään käyttöönotetuista säännöstelyistä. Sen pääperiaatteena on luonnonmukaisten vedenkorkeusvaihteluiden rajoissa saavuttaa vesistön eri käyttömuotojen säännöstelylle asetta-

mat tavoitteet (moninaiskäyttö).

Tehokkaalla järvisäännöstelyllä tai tekoaltaita rakentamalla pyritään vähäjärvisissä vesistöissä tasaamaan vesistön luontaisesti suuria virtaaman vaihteluita. Tämän lähinnä tulvasuojelun ja voimatalouden tarpeisiin asetetun tavoitteen saavuttaminen edellyttää yleensä luonnon-tilaisia suurempia vedenkorkeusvaihteluita.

Säännöstelyllä pyritään vettä varastoimalla muuttamaan vesistön luonnon-tilaisia virtaamanvaihteluita siten, että vettä riittää käytettäväksi koko vuoden aikana.

Näin säännöstelyn vaikutuksesta altaan alapuolisen vesistön virtaamat vähenevät kesän ja alkusyksyn aikana sekä vastaavasti lisääntyvät loppusyksyn ja talven aikana. Vedenkorkeuksien osalta on huomattava, että tulvasuojelun ja voimatalouden tavoitteiden vuoksi suoritetaan säännöstelyaltaassa yleensä luonnonmukaista tilannetta suurempi kevätalennus.

Säännöstelyn vaikutus alapuolisen vesistön veden laatuun riippuu säännöstelykohtaisesti minimijuoksutussäännöksistä. Luonnonmukaisen järvisäännöstelyn suunnittelussa asetetaan virtaamatavoitteeksi alivirtaaman lisääminen vesivoimatehon tai vedenottomahdollisuuksien lisäämiseksi, mistä seuraa jätevesien laimennussuhteen parantuminen alivirtaamakaushina. Tehokkaassa järvi- ja tekoallassäännöstelyssä saattaa talvikuukausille asetetuista virtaamatavoitteista aiheutua veden laadun heikkenemistä kesäaikana. Tämä kesäajan virtaaman väheneminen ei koske yleensä alivirtaamaa (päiväarvo) vaan pidemmän aikavälin keskiarvoa. Vastaavasti voimalaitosten suorittamassa lyhytaikaissäännöstelyssä voi yö- ja viikonloppujuoksutus alittaa huomattavasti vuosisäännöstelyn vähimmäisjuoksutuksen ja aiheuttaa veden laadun lyhytaikaista heikkenemistä.

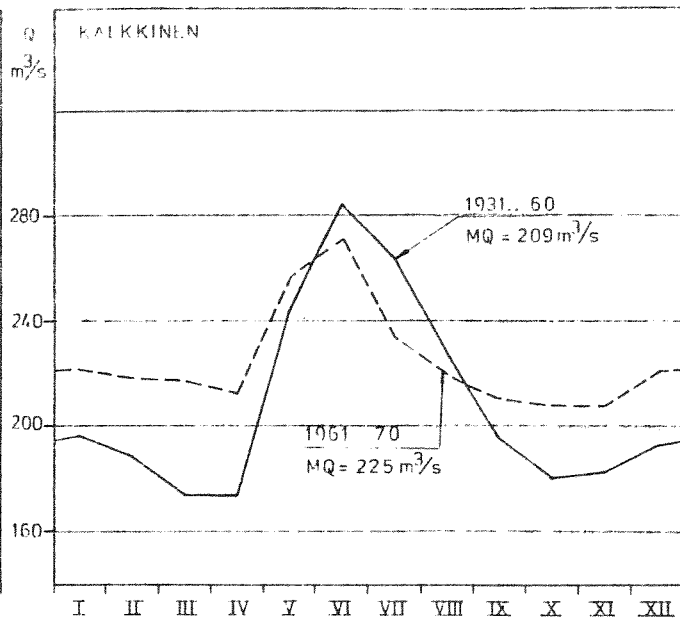
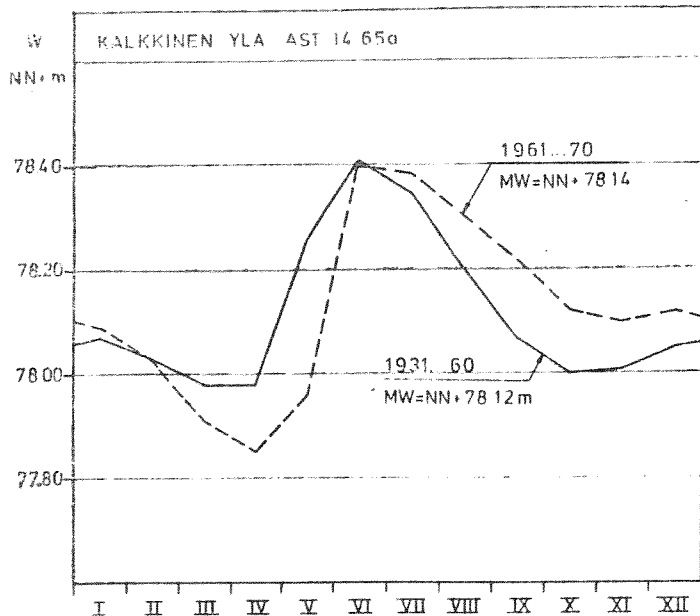
Säännöstelyn vaikutus säännösteltävän altaan veden laatuun riippuu säännöstelyn tehokkuudesta. Mikäli tulvasuojelun ja voimatalouden tarpeisiin suoritettava kevätalennus on huomattava saattaa tästä aiheutua järven koko vesimassan happitilanteen heikkenemistä kevättäyskierron aikana. Nämä vaikutukset määräytyvät järvikohtaisesti altaan päällis- ja alusveden suhteellisen suuruuden perusteella. Kesäaikana veden varastoiminen säännöstelyaltaaseen voi muuttaa aikaisemmin kerrostumattoman järven kerrostuneeksi ja aiheuttaa alusvedessä hapenvajausta myös avoveden aikana. Järven veden laatu jääpeiteaikana riippuu jäätymis-

ajankohdasta ja tuulisuhteista. Säännöstellyn tilanteen yleensä suurempi allastilavuus syksyllä ei sanottavasti hidasta järven jäätymistä keskisyvyyden ollessa suuri ja matalissakin järvissä vain noin vuorokauden keskisyvyyden kasvaessa metrillä. Näinollen altaan veden jäähtyminen ja happivaraston kasvu riippuvat myös säännöstellyssä tilanteessa lähinnä ilmastollisista tekijöistä.

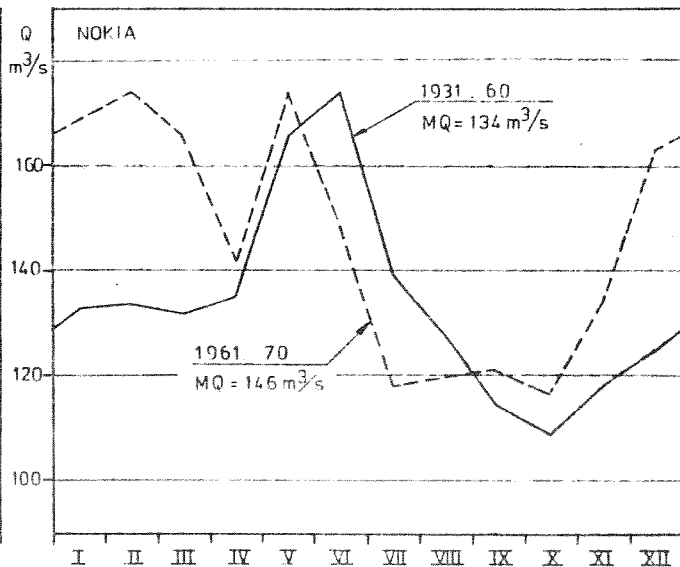
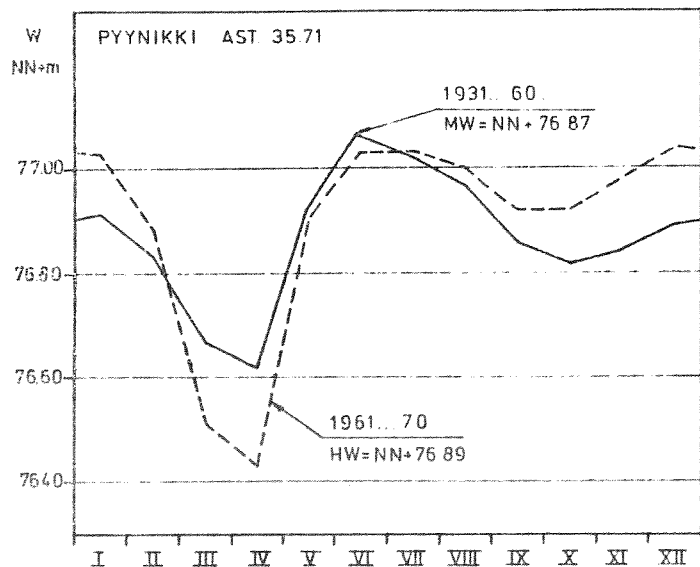
Järven vedenpinnan nostolla säännöstelyn yhteydessä on tilavuutta ja viipymää lisäävänä ilmeisesti edullinen vaikutus veden laatuun. Viipymän osalta säännöstely tasaa kevättulvan ravinnerikkaita vesiä koko vuoden osalle, joskin luonnonmukaisessa järvisäännöstelyssä ei viipymän muutos ole merkittävä. Tehokkaissa järvi- ja tekoallassäännöstelyissä on säännöstelytilavuus suhteessa vaihtuvaan vesitilavuuteen ja sen vaikutus viipymään suurempi. Järven vedenpinnan noston ollessa huomattava saattaa veden alle jäävistä ranta-alueista aiheutua varsin epäedullisia muutoksia järven ja alapuolisen vesistön veden laatuun. Säännöstelyn vaikutuksia veden laatuun on maassamme tarkasteltu lähinnä vähäjärvisiin vesistöihin tulvasuojelun ja voimatalouden tarpeisiin rakennettujen tekoaltaiden osalta.

Tekoaltaan rakentaminen ja yleensä varsin tehokas säännöstely tuovat säännöstelyn veden laatuun kohdistamat vaikutukset korostetusti esiin. Tekoaltaan veden laatu määräytyy veden alle jäävän maa-alueen, säännöstelyn tehokkuuden ja altaan iän mukaan. Altaan veden laatu on usein ensimmäisinä käyttövuosina ja saattaa parantua ajan mittaan. Tekoaltaan varsin tehokas säännöstely tasaa jokivesistön luontaisesti suuria veden laadun vaihteluja. Siten kevättulvan ravinnerikkaiden vesien varastoiminen vähentää viipymän lisääntyessä alapuolisen vesistön ravinnemääriä mutta toisaalta lisää tämän kuormituksen kestoaikaa. Tekoaltaan selvästi haitallisin vaikutus aiheutuu kevättalven happikadosta alusvedessä, mistä alapuoliseen vesistöön kohdistuvaa haittaa korostaa tehokkaan säännöstelyn huomattava kevätalennus. Altaan rakentamisesta aiheutuvat samentumishaitat saattavat olla alapuolisessa vesistössä varsin huomattavat.

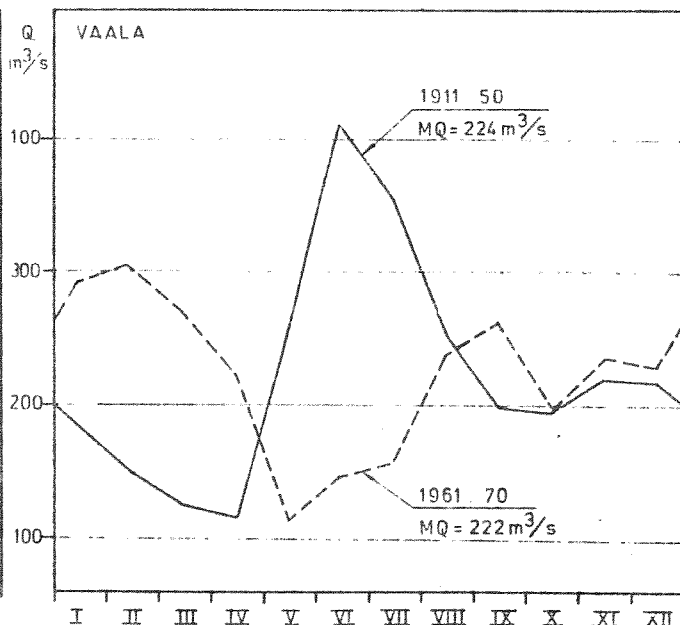
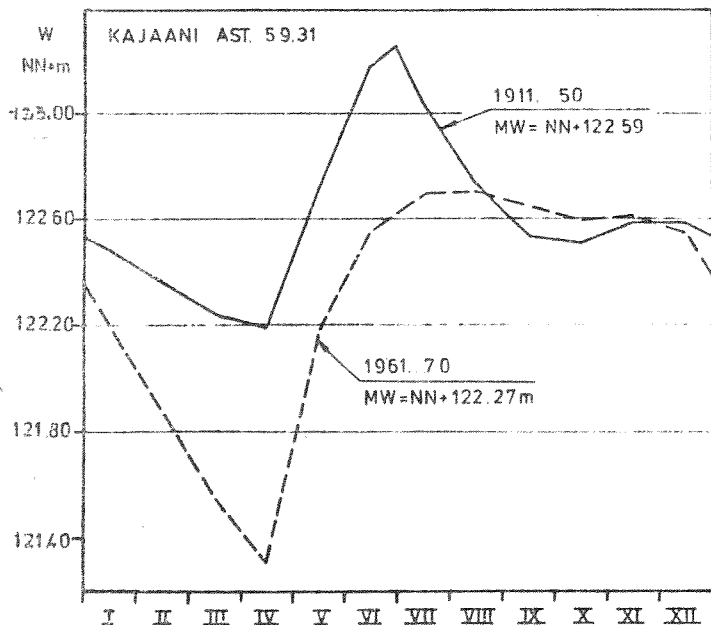
Säännöstelykohtaiset erot käyvät ilmi kuvasta 9., jossa on esitetty Kymijoen, Kokemäenjoen ja Oulujoen reittivesistöjen keskusaltaiden säännöstelyn vaikutukset vedenkorkeuksien ja virtaamien kuukausi-



PYHÄJÄRVI SAANNOSTELTY VUODESTA 1962



OULUJÄRVI SAANNOSTELTY VUODESTA 1951



Kuva 9: Säännöstelyn vaikutus vedenkorkeuksiin ja virtaamiin
(Vesihallitus 1976 b).

keskiarvoihin. Vertailu on suoritettu säännöstelyä edeltävän jakson ja säännöstellyn jakson havaintojen perusteella. Kuvasta käy ilmi luonnonmukaisen (Päijänne) ja varsin tehokkaan säännöstelyn (Oulujärvi) eroavuus.

Vesistön järjestelyihin luetaan uoman perkaus, järven lasku ja nosto. Tässä yhteydessä on syytä huomioda myös ojitukseen kuuluvia toimenpiteitä valuma-alueella.

Jokiuoman koskipaikkojen ja altaiden uoman osien perkauksella vähennetään virtausnopeutta ja hapen sekoittumisen kannalta oleellista virtauksen turbulentsuutta. Tämä vaikuttaa heikentävästi veden puhdistumiskykyyn ja laatuun.

Järven laskun voidaan katsoa heikentävän järven ja alapuolisen vesistön veden laatua. Tämä aiheutuu järven vesitilavuuden ja viipymän pienentymisestä sekä pohjasedimenttien huuhtoutumisesta. Vastaavasti voidaan järven nostoa pitää veden laatua parantavana toimenpiteenä. Tosin veden alle jäävien maa-alueiden vaikutus saattaa olla suhteessa järven tilavuuteen huomattava.

Vesistön valuma-alueella suoritettut suo- ja metsäojitukset lisäävät (pintakerros) valuntaa ja siten vesistöön tulevia ainemääriä. Toisaalta nämä toimenpiteet lisäävät vesistön alivirtaamia. Maassamme Ruokolahdella suoritettujen tutkimusten mukaan on suoalueen ojituksen todettu lisänneen alueen vuosivaluntaa 43 %. Alivirtaaman osalta tutkitun alueen 30 vuorokauden talvialivaluma kasvoi 280 % ja kesäalivaluma 700 %. Pintakerrosvaluntaa kuvaava kevään ylivaluma kasvoi vastaavasti 31 % ja kesäkauden ylivaluma 131 % (Kinnunen ym. 1974).

Vesistö tarkkailun kannalta ovat tiedot vesistössä toteutetuista säännöstelyistä ja järjestelyistä rinnastettava hydrologisiin tietoihin. Näiden laadituista suunnitelmista saatavien tietojen avulla on mahdollista tarkastella suoritettujen havaintojen riippuvuutta vesitilanteesta sekä arvioida veden laadun kannalta kriittisten tilanteiden toistuvuutta. Tällöin tulee kiinnittää huomiota erityisesti kevätalennukseen.

4.3 VESISTÖTARKKAILUSSA HUOMIOONOTETTAVAT HYDROLOGISET PARAMETRIT

4.31 Havaittavat ja tilastolliset parametrit

Vesistötarkkailun järjestämisessä ja tulosten käsittelyssä tarvitaan vesistön yleisiä ominaisuuksia kuvaavien parametrien ohella tiedot hydrologisista havainnoista tilastollisine suureineen. Näitä parametreja ovat vesistön

- yleiset ominaisuudet
 - valuma-alueen pinta-ala
 - järvisyysprosentti
- vedenkorkeus- ja virtaamatiedot
 - asteikot ja havaintopaikat
 - vedenkorkeuksien ja virtaamien keski- ja ääriarvot
 - esim. jakson 1931 - 60 aikana
 - eri kuukausina 1931 - 60
 - vedenkorkeuksien ja virtaamien pysyvyydet
 - esim. jakson 1931 - 60 aikana
 - eri vuodenaikoina
 - alivirtaamakaudet
 - esim. 30 vrk:n talvi- ja kesäkuivakausi
 - sattumisajankohta
 - toistuvuus/ankaruus
 - kevättulvan ajankohta
 - 5 - 15 vrk:n ylivirtaama
 - sattumisajankohta
 - toistuvuus/ankaruus
- jääpeitteen kesto- ja paksuus
- tiedot säännöstelyistä ja järjestelyistä

Tilastollisten suureiden määrittämiseksi on valittava vesistötarkkailun tarpeisiin soveltuva havaintojakso. Tämän jaksón tulee olla vesistön nykytilaa kuvaava riittävän pitkä ajanjakso. Tarkastelujaksona voidaan pitää aikaväliä 1931 - 60 ellei havaintokauden lyhyys tai vesistön vedenkorkeus- ja virtaamasuhteiden oleellinen muutos edellytä muun jaksón käyttöä.

Tilastollisten perussuureiden selvittäminen voidaan suorittaa pääosin hydrologisten vuosikirjojen ja tilastollisten julkaisujen avulla. Näiden yhteenvetojen puuttuessa on mm. alivirtaama- ja tulvakausion hydrologisia ominaisuuksia kuvaavat suureet selvitettävä toistaiseksi pääasiassa erillisten yhteenvetojen avulla.

4.32 Mitattavat ja laskennalliset parametrit

Suoranaisten hydrologisten havaintojen ohella tarvitaan tarkkailun tulosten yksityiskohtaiseen käsittelyyn mitattavia ja laskennallisia parametreja, joita ovat

- pinta-ala ja tilavuustiedot korkeusvyöhykkeittäin
- vesitaseen eri tekijät
 - maa-alueen valunta ja sen eri muodot
 - sadanta
 - haihdunta
- viipymä
 - jokivesistöjen kulkeutumisaika
 - järven todellinen viipymä

5. TULOSTEN KÄSITTELY JA KÄYTTÖ

5.1 TIETOJEN KOKOAMINEN JA TALLENTAMINEN ERI TAVOITETASOILLE

5.11 Laboratorio- ja kenttätulosten rekisteröinti manuaalisessa tarkkailussa

Koko maata koskevien, viranomaisten suorittamien tarkkailujen tulokset sekä velvoitetarkkailujen tulokset on koottu vedenlaaturekisteriin. Tietokonetekniikan kehittyessä rekisterisovellutuksille on ominaista, että systeemi joudutaan uudistamaan muutaman vuoden välein, jotta

tietovaranto saataisiin mahdollisimman tehokkaaseen käyttöön. Erillisinä osaselvityksinä tehtäviin vesistötarkkailuihin liittyy näkökohtia, joiden vuoksi lienee etsittävä myös paikallisia puitteita manuaalisen tarkkailun tulosten käsittelyyn.

5.12 Tulokset tietokantojen osana

Tietokannalla tarkoitetaan samaan asiakokonaisuuteen liittyvien tietojen joukkoa. Vesistötarkkailussakin tarvitaan havaintoaineiston ohella tiedot, jotka liittävät havainnot tarkasteltavaan asiakokonaisuuteen. Vesistön kuvaamiseen kuuluu tutkimuksen tavoitteesta riippuen vaihtelevia lisätietoja. Keskeisiksi on koettu hydrologiset ja kuormitustiedot. Toisaalta valuma-aluetta ja aikaisemmin todettuja muuttujien välisiä yhteyksiä koskevat tiedot ovat vähintään yhtä hyödyllisiä.

Vesistötarkkailun kehittämistä ajatellen ei ole tarkoituksenmukaista tuoda niinkään ko. vesistöä koskevaa taustatietoa painolastiksi tarkkailutulosten yhteyteen vaan pyrkimyksenä tulisi olla tarkkailutulosten varustaminen sellaisin osoittein ja tunnistetiedoin, että vesistön tietokanta voidaan tarvittaessa yhdistää. Tarkkailun suunnittelussa ja tulosten käsittelyvaiheessa olisi tältä osin riittävä tieto siitä, millaista aikaisempaa aineistoa on ja mistä se on saatavissa.

5.2 YHTEENVETOJEN LAADINTA ERI TARKOITUKSIIN

Kysymyksenasettelu yhteenvetoraporttien tarpeen suhteen on varsin samankaltainen kuin tutkimustarpeen suhteen yleensä. Raportteja voi kuitenkin käyttää ja tarvita myös sellainen taho, jonka intressissä itse tutkimuksen suorittaminen ei ole. Voimme kiteyttää tilanteen kysymällä, kuka tarvitsee vesistötarkkailun tuloksia, mistä niiden pitäisi tulla ja kenen niitä pitäisi toimittaa.

Ongelmakenttään liittyy tiedonsäilyttämisestä ja käsittelystä koituvat kustannukset, vastuu tietojen oikeellisuudesta sekä päätöksenteko tietojen saatavuudesta ja käytöstä. Edellä on todettu tietty konservatiivisuus välttämättömäksi, jotta tarkkailutuloksista yleensäkin

saataisiin trendilaskentaan tai muuhun tilastolliseen käsittelyyn ajan suhteen kelvollista tietoa. Ihannetapauksessa tarkkailututkimukset olisikin toteutettava tulevaisuuden välttämättömintä tietotarvetta ennakoiden, tietysti nykyistä tarvetta unohtamatta. Tähän on harvoin mahdollisuuksia ja kokemus osoittaa vain lyhyen tähtäyksen tietotarpeen ennustamisen melko tarkasti mahdolliseksi. Käyttökelpoinen linja näyttää olevan muutamien keskeisten perusparametrien kuljettaminen mukana tutkimusohjelmissa, jolloin näitä koskevien havaintojen perusteella kenties voidaan tulevaisuudessa tehdä arvaamattomiakin tarpeita palvelevia päätelmiä.

Tulevan tietotarpeen ennakointi käy erityisen tärkeäksi suunniteltaessa selllaisten vesistöjen tarkkailua, jotka eivät näytä vielä olevan likaantumassa tai joiden muu käyttö näyttää merkitykseltään vähäiseltä. Sekä virkistyskäyttö että vedenhankinta muodostunevat tärkeiksi nopeasti monissa toistaiseksi vähän tutkituissa vesistöissä. Diffuusin likaantumisen seuranta ja vesistön tilaa säätelevien lainalaisuuksien selvittely ovat monesti osoittautuneet hyödyllisiksi uusissa yhteyksissä.

5.3 ENNUSTEIDEN LAADINTA JA MALLISOVELLUTUSTEN MAHDOLLISUUDET

Trendiennusteissa otaksutaan tietyn muuttujan arvojen kehittyvän vastaavuudessa yhtä nopeasti kuin vertailujakson aikana, joko absoluuttisen tai suhteellisen muutoksen ollessa aikayksikköä kohti vakio. Yksinomaan veden laadun perusteella tehtyjen havaintopaikkakohtaisten trendiennusteiden kantavuus on lyhyt ja niiden käyttöä vaikeuttaa vuodenaikaisvaihtelusta johtuva luotettavuusrajojen väljyys. Trendit soveltuvat kuitenkin hyvin jo tapahtuneen systemaattisen kehityksen kuvaamiseen, edellyttäen, että havaintojen lukumäärä ja niiden peittämä aikajakso ovat vaihtelun luonteeseen nähden riittävät. Alueellisissa suuremmissa aineistoissa ennustavuus on ilmeisesti parempi niiden muuttujien suhteen, joiden arvot riippuvat vesistön valuma-alueella tapahtuvasta ihmisen toiminnasta.

Joidenkin tapahtumakulkujen kuvaamiseen soveltuu logistinen kehitysmalli, jossa otaksutaan systeemin koon pysyvän välillä 1 - 0 ja suh-

teellisen kasvun olevan suoraan verrannollinen kasvumahdollisuuksiin. Logistisen kasvukäyrän määrittellee yhtälö

$$F(t) = \frac{1}{1 - e^{-at-b}}$$

Olosuhteiden muutoksen ottaminen huomioon ennustavissa malleissa edellyttää, että aikaisempien kokemusten perusteella voidaan päätellä muutustumismekanismi tai useiden vastaavien aikaisempien tapausten perusteella arvioida muutoksen suuruus esimerkiksi regressioanalyysin avulla. Tarkjolla on siis sekä stokastinen että deterministinen päättelytie. Biologisia tapahtumia vesistössä kuvattaessa näyttää välttämättömältä käyttää molempia menetelmiä. Fysikaaliset ja kemialliset prosessit ovat ainakin osittain deterministisesti kuvattavia, mutta vaikutukset esimerkiksi levätuotantoon vaativat stokastisen elementin ottamista huomioon. EPAECO-mallissa on nämä molemmat piirteet.

6. EHDOTUS VESISTÖTARKKAILUN KEHITTÄMISEKSI

6.1 NYKYTILANNE

Vesistötarkkailu on parhaillaan kehittymässä voimakkaasti siten, että lisääntyvä yhdenmuotoisuus niin menetelmissä kuin tulosten esitystavoissa tekee mahdolliseksi entistä laajemmat ajalliset ja alueelliset vertailut. Paikoitellen pystytään myös hahmottamaan kvantitatiivisesti vesistön tilaa ja sen muutoksia määrääviä systeemejä numeerisin mallein. Havaintosarjat ovat kuitenkin vielä melko lyhyitä.

6.2 EHDOTUKSET

Tässä tehtävät ehdotukset koskevat jatkuvaa havaintojen tekoa sekä valtakunnallisella tasolla että velvoitetutkimuksina siten, että tulosten

hyödyntämisessä päästään toisaalta tarkoituksenmukaisiin laatukriteereihin, toisaalta vesistökohtaisiin systeemikuvauksiin. Laatunäkökohta on monesti vesistön käyttäjälle ratkaiseva. Systeemiajattelu puolestaan auttaa kytkemään veden laadun sitä määräviin tekijöihin. Näistä ehdotuksista riippumatta vesistöjen hyväksikäyttö ja suojele sekä tarkkailunkin kehittäminen vaativat laajaa Suomen vesistöjen erikoispiirteisiin kohdistuvaa tutkimustyötä, jonka tuloksiin tulevaisuus rakentuu. Ihmisen toiminnasta aiheutuvien vesistön tilan muutosten tutkiminen sekä niihin liittyvien hyöty- ja haittanäkökohtien arviointi myös taloudellisessa mielessä on niinikään jatkuvan kehityksen edellytys. Paljon on siis jouduttu tässä jättämään tutkimatta. Ne kohteet, jotka on voitu yksilöidä, ovat seuraavat:

- Veden laatukriteereiden kehittäminen edelleen. Voimakkaan käyttöpaineen alaisissa vesistöissä vaikeuksia aiheuttaa mm. keskenään yhteismitattomien kuormitustekijöiden vaikutuksen arviointi. Tällaisissa vesissä osaratkaisu voisi olla vesistökohtaiset laatu-suositukset.
- Veden laatua määrävien tekijöiden systeemikuvaus. Tyydyttävä kuvaus vaatii aineistoja usean vuoden ajalta ja nykyisessä vaiheessa lienee tarkoituksenmukaista rajoittua ennestään melko tiiviisti tutkittuihin vesistöihin
- Hydrologisten tekijöiden vaihtelun ottaminen huomioon. Näytteenottoajankohtien valinnassa ja tulosten tulkinnessa on nähty mahdollisuuksia samantapaisiin menettelyihin kuin on käytössä veden määrää ja liikkeitä koskevissa tutkimuksissa. Nämä tiedot ovat myös paikoin välttämätöntä laatutarkkailun taustatietoa
- Tutkimustulosten dokumentoinnin ja informaatiojärjestelmän kehittäminen edelleen. Tietojen saatavuus, sisällön standardointi ja taustatietojen osoitteiston liittäminen tuloksiin sisältävät mahdollisuuksia niiden käytön tehostamiseen.

Kehittämis ehdotusten ohella on paikallaan koota eräitä mahdollisia jatkotutkimuskohteita:

- Veden laatua koskevien havaintosarjojen tilastollisten ominaisuuksien selvittely eri tyyppisissä vesistöissä tarkkailuohjelmien kehittämistä silmälläpitäen
- Edelliseen tukeutva aikasarjojen tarkastelu toisaalta ainevirtaa-

mien, toisaalta automaattisten mittausasemien tuottamien tulosten valossa

- Uusien kenttätutkimusten välineiksi sopivien menetelmien ja sovel-lutusten etsintä
- Dokumentoinnin kehittämiseen liittyvät tutkimukset, kuten yhtenäis-ten vesistöalue raporttien laadintamahdollisuus, tutkimusohjelmien tarkastelu systeemikuvauksen kannalta ja tarvittava tekniikka.

Näissä ehdotuksissa on varsinaisen tarkkailun perustana oleva limnolo-ginen ja muu tieteellinen tutkimus jäänyt varjoon, kun taas ns. kvanti-tatiivisten menetelmien soveltaminen on ajankohtaisuutensa vuoksi painot-tunut liiankin voimakkaasti. Raportti lieneekin nähtävä vain yhtenä, kantavuudeltaan lyhyehkönä askeleena vesistö tarkkailun kehittämisessä.

7. K I R J A L L I S U U S L U E T T E L O

- Chow, V.T. 1975. Handbook of Applied Hydrology.
- Falkenmark, M. 1973. Dynamic Studies of Lake Velen. IHD Sweden Report 31.
- Hosia, L. 1973. Hydraulikka RIL Vesirakennus.
- Huttula, T. 1977. Tuulen vaikutus harppauskerroksenliikkeisiin Lammin (EH) Pääjärvellä, Ympäristö ja terveys, n:o 1.
- Hyvärinen, V. ja Gührer, I. 1976. Virtaama-aineiston tilastanalyysi, Vesientutkimuslaitoksen julkaisu 15.
- Kajosaari, E. 1963. Järviältä veden vaihtumisnopeuteen vaikuttavista tekijöistä. Hämeen Vesiensuojeluyhdistys, julkaisu 2.
- 1968. Kuivakausista Suomen vesistöissä erityisesti vedenhankintaa ja vesiensuojelua silmälläpitäen. Hydrologisen toimiston tiedonantoja XXVIII
- 1973. Hydrologia RIL Vesihuolto.
- Kinnunen, K., Niemelä, S. ja Poikolainen, M-L. 1974. Bakteriofagien käyttö merkkiaineena jokien kulkeutumistutkimuksissa, Vesitalous 1.
- Kuusisto, E. 1975 a. Säkylän Pyhäjärven vesitase ja säännöstely. Vesientutkimuslaitoksen julkaisu 11.
- 1975 b. Vuosi- ja kuukausivalun aikasarjojen rakenteesta. Vesihallituksen tiedotus 94.
- 1977. Konseptuaalisten valuntamallien soveltamisesta Suomessa, Vesitalous 1.
- Laaksonen, R. 1974. Veden laadun rakenteesta. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 9.
- Laaksonen, R. ja Wartiovaara, J. 1973. Vesistöjen veden laadun muutoksesta 1960-luvulla. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 6.
- Linsey, R.K., Kohler, M.A. ja Paulkus, J.L.H. 1975. Hydrology for Engineers.
- Muhonen, J. 1976. Suomen vesistöjen erityispiirteiden aiheuttamista ongelmista vesien tilan tarkkailussa (Moniste).
- Mustonen, S.E. 1973. Hydrologia Vesirakennus RIL 92.
- Nordforsk, 1976. Organiska miljögifter i vatten. Tofte nordiska symposiet om vattenforskning Visby, 11 - 13 Maj 1976. Nordforsk Miljövårdssekretariatet publikation 1976:2.

- Poels, C.L.M. 1977. An Automatic System for Rapid Detection of Acute High Concentrations of Toxic Substances in Surface Water Using Trout. Biological Monitoring of Water and Effluent Quality, ASTM STP 607. American Society for Testing and Materials.
- Quinn, F.H. 1977. Annual and Seasonal Flow Variations through the Straits of Mackinas, Water Resources Research N:o 1.
- Sauer, V.B. 1973. Unit-response method of open channel flow routing. Journal of Hydraulic Division ASCE vol. 99, N:o HY 1.
- Vesihallitus, 1974. Vesiensuojelun periaatteet vuoteen 1985. Vesihallituksen julkaisuja 8.
- 1976 a. Jätevesikuormituksen ja sen vaikutusten velvoitetarkkailu. Vesihallituksen julkaisuja 17.
- 1976 b. Hydrologinen vuosikirja 1972 - 1973. Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 18.
- Yhdyskuntien vesi- ja ympäristöprojekti, 1976. Vesihuollon edellyttämä vesistötutkimus. YVY-tutkimus 14.

LIITE 2

Pohjois-Suomen Vesitutkimustoimisto:

Vesien tilan tarkkailutulosten hyväksikäytön mallikehitelmä
pienille jokivesistöille

Selvityksen ovat laatineet

MMK Eero Meskus

FK Pekka Antila

FK Erkki Alasaarela

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	95
2.	PYHÄJOEN VESISTÖALUE	96
2.1	Väestöpohja ja elinkeinojakauma	96
2.2	Vesistön osa-alueet ja järvet	97
2.3	Hydrologiset tiedot ja säännöstelyasteet	99
2.4	Muut tiedot	105
3.	TIETOAINEISTO	105
3.1	Vesianalyttiset tiedot	105
3.2	Hydrologiset tiedot	108
4.	MALLIN MUODOSTAMINEN	108
5.	PYHÄJOEN VESISTÖALUEEN JAKO ELEMENTTEIHIN	109
5.1	Jakoperusteet	109
5.2	Hydrauliset elementit	110
5.3	Massavirtaukset elementeissä	112
6.	PYHÄJOEN MASSAVIRTAUSKAAVION HAHMOTTELU	115
7.	SYSTEEMIMALLIN SELVITTÄMISEDELLYTYKSET	117
8.	MALLIN KÄYTTÖMAHDOLLISUUDET	118
9.	TUTKIMUSTULOSTEN TIEDOTTAMINEN	118

LIITE 1

1. J O H D A N T O

Tämä selvitys on syntynyt osana vesihallituksen KVT-projektia, jonka eräänä tarkoituksena on ollut vesistöjen tarkkailumenetelmien kehittäminen. Pyhäjoen vesistö muodostaa meillä erään tyypillisen vesistöryhmän sekä vesistön rakenteen että valuma-alueen kulttuurin osalta. Tähän ryhmään kuuluvat lähes kaikki laakean Pohjanmaan jokivesistöt, joiden rakenteellisesti luonteenomaiset piirteet koostuvat vähäjärvisyydestä, järivialtaiden sijoittumisesta latva-alueille, loivuudesta ja varastoaltaiden pienuudesta johtuvasta voimakkaasti vaihtelevasta virtaamasta. Vesistöalueiden kulttuurissa hallitsevana on maa- ja metsätalouden voimakas osuus maankäytössä. Taajamakeskittymät ovat pienehköjä ja teollistumisaste yleensä alhainen.

Vesistöihin kohdistuvat toimenpiteet ovat historiallisesti keskittyneet lähinnä maatalousmaan hankintaan kuivatuksin ja tulvansuojeluin. Tulvansuojelun tehostaminen on yleensä järjestetty luonnollisten altaiden säännöstelyllä ja tekoaltailla. Sensijaan vesistöjen käyttö veden hankintaan ja jätevesien purkualueena on laajamittaisesti toteutunut parin viimeisen vuosikymmenen aikana vesihuollon kehittymisen ja teollistumisen myötä.

Nykyisen vesioikeudellisen käytännön mukaisesti vesistöjen veden laatuun kohdistuva seuranta perustuu luvanvaraisten toimintojen velvoitteisiin. Velvoitetarkkailulle luonteenomaisesti seuranta on ollut alueellisesti rajoittunutta ja muista tutkimusvelvoitteista riippumattonta. Tällaisenaan valvonta on saattanut tuottaa runsaastikin tietoa-aineistoa, jonka informaatioisisältö koko vesistöaluetta kattavana jää vähäiseksi ja tavoitteellisen suunnittelun kannalta arvottomaksi. Lisäksi luvanvaraisten toimintojen valvonta saattaa kohdistua vesistöalueen kokonaisainetaseen vähäisimpään osaan muiden tekijöiden ollessa tosiasiallisina selittäjinä.

On siten varsin ymmärrettävää, että jatkuvan valvonnan motivointi edellyttää hankitun tietoaineiston informaatioisisällön parempaa hyödyntämistä. Edellytyksenä on valvontasysteemin kehittäminen niin, että sekä yksittäisten kuormittajien valvonta että koko vesistöalueen eri kuormituslähteiden väliset vuorovaikutussuhteet saataisiin edes jollakinlailla kuvattua. Valvontaverkoston lopputulokseksi voidaan

asettaa systeemitavoite, jossa eri kuormitustekijöiden vaikutukset voidaan jollakin tarkkuudella lausua ja jossa koko vesistöalueelle voidaan kuvata haluttuun pisteeseen odotettavissa oleva tila tunnetun kuormituslähteen eri muutoksilla.

Tämän työn puitteissa on kohdevesistöksi valittu Pyhäjoki, joka tyypillisesti edustaa edellä kuvattua vesistötyyppiä. Selvitys on alustava ja pyrkimyksenä on kartoittaa lähinnä se, millaiset mahdollisuudet nykyisellä valvontaverkostolla tai sitä muuttelemalla olisi muodostaa Pyhäjoen veden laatua ja laatumuutoksia kuvaava tietojärjestelmä.

2. P Y H Ä J O E N V E S I S T Ö A L U E

2.1 VÄESTÖPOHJA JA ELINKEINOJAKAUMA

Pyhäjokilaakson väestöpohja on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Pyhäjokilaakson väestö v. 1974.

Kunta	Taajama	Haja- asutus	Elinkeinojakauma							
			Maa- ja metsät.	%	Teolli- llisuus	%	Raken- nus	%	Pal- velu	%
Pyhäjärvi	2 650	5 526	1 496	43,6	649	18,9	265	7,7	961	28,0
Kärsämäki	750	2 822	1 170	68,3	76	4,4	82	4,8	362	21,1
Haapavesi	2 430	4 775	1 517	50,7	326	10,9	243	8,1	845	28,2
Vihanti	2 100	2 272	697	34,7	665	33,1	150	7,5	466	23,2
Oulainen	3 960	3 335	1 267	39,5	500	15,6	317	9,9	1093	34,1
Merijärvi	300	1 293	497	64,3	52	6,7	64	8,3	146	18,9
Pyhäjoki	1 300	2 236	974	56,1	254	14,6	140	8,1	334	19,2
	13 490	22 259	7 618	51,0	2522	14,9	1261	7,8	4207	24,7

Kokonaisväestö on n. 36 000 as, joista taajamissa asuu vain 37,5 % ja haja-asutuksen osuus on korkea. Lisäksi maa- ja metsätoimessa väestöstä

on yli 50 % ammatissa olevasta väestöstä.

Pyhäjokilaakson merkittävimmät teollisuuslaitokset ovat seuraavat:

- Outokumpu Oy, Pyhäsalmen kaivos
- Outokumpu Oy, Vihannin kaivos
- Osuuskunta Pohjolan Maito
- Oy Kasviöljy Ab, Vihannin tehtaot (jätevedet Siikajoen vesistö-alueelle).

2.2 VESISTÖN OSA-ALUEET JA JÄRVET

Seuraavissa taulukoissa 2. ja 3. on esitetty Pyhäjoen vesistöalueen tärkeimmät osa-alueet ja järvet.

Taulukko 2. Pyhäjoen vesistöalueen osa-alueet

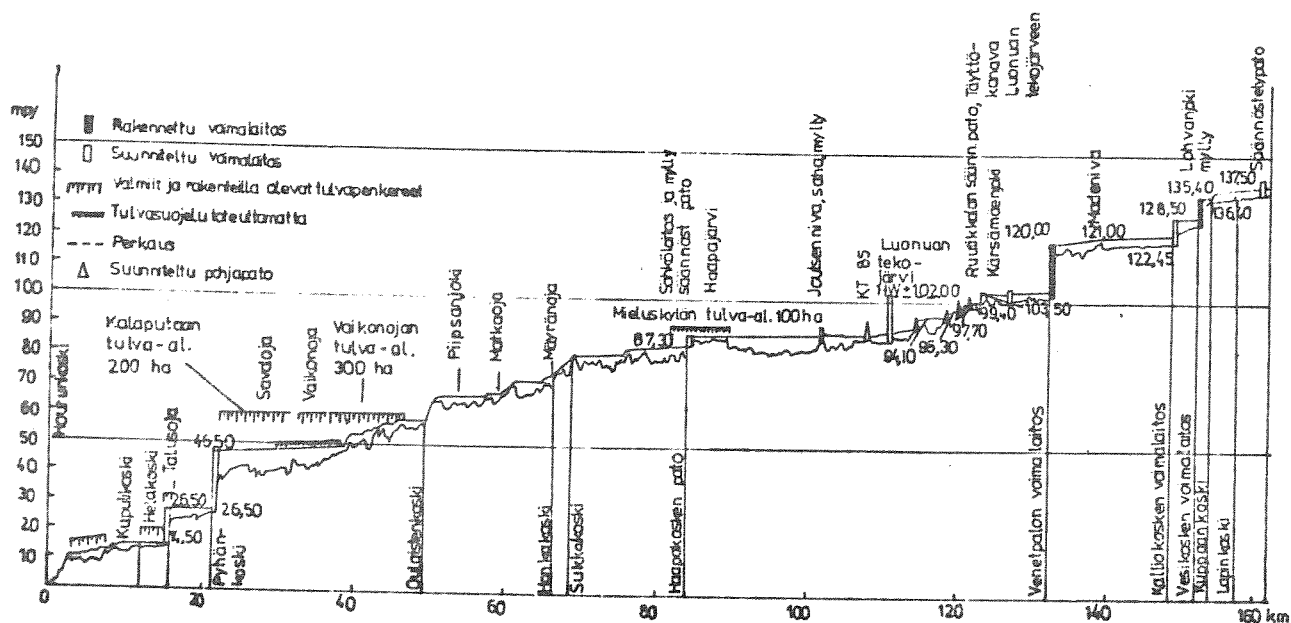
Vesistöalueen tai osa-alueen nimi	Osa-alueen		Summa alarajalla		Alaraja
	F km ²	L %	F km ²	L %	
Pyhäjoki	-	-	3 724	5,1	Perämeri
Pyhäjokisuu	136	0,3	3 724	5,1	Perämeri
Pyhäjoen keskiosa	905	1,0	3 419	5,5	Pyhäkoski
Pyhäjoen yläosa	804	1,4	1 954	8,0	Haapakoski
Pyhäjärvi	690	20,9	690	20,9	Junttiselkä
Kärsämäenjoki	420	0,2	420	0,2	Pyhäjoki
Piipsanjoki	557	3,9	557	3,9	Pyhäjoki
Talusjoki	169	0,7	169	0,7	Pyhäjoki

Taulukko 3. Pyhäjoen tärkeimmät järvet

Järven nimi	Pinta-ala km ²	Keski- syvyys m	Suurin syvyys m	Tilavuus milj. m ³	Rantaviivan pituus km
Pirnesjärvi	4,51	1,3	3,8	5,4	11,9
Haapajärvi	3,75	2,4	12,5	8,7	14,7
Vähä-Vatjusjärvi	1,02	2,5	5,5		5,2
Iso-Vatjusjärvi	3,81	3,2	9,0	12,0	11,4
Pyhäjärvi	126,0	6,6	31,0	n.815	174,0
Komujärvi	6,71				21,8
Suojärvi	1,16		1,3		5,4
Osmankijärvi	6,35	1,2	2,3	7,5	15,0
Ainalinjärvi	6,98	0,8	2,0	5,5	18,1
Apaja	1,46		1,0		5,4
Korkattijärvi	1,36		1,4		4,9
Parkkimajärvi	9,4				19,0

Pyhäjärven merkitys tulee korostetusti esille järvitilavuuden ja pinta-alan osalta, sillä prosenttiosuudet edellä mainitussa järjestyksessä ovat 95 ja 73 %.

Pyhäjoen pituusleikkaus on esitetty kuvassa 1.

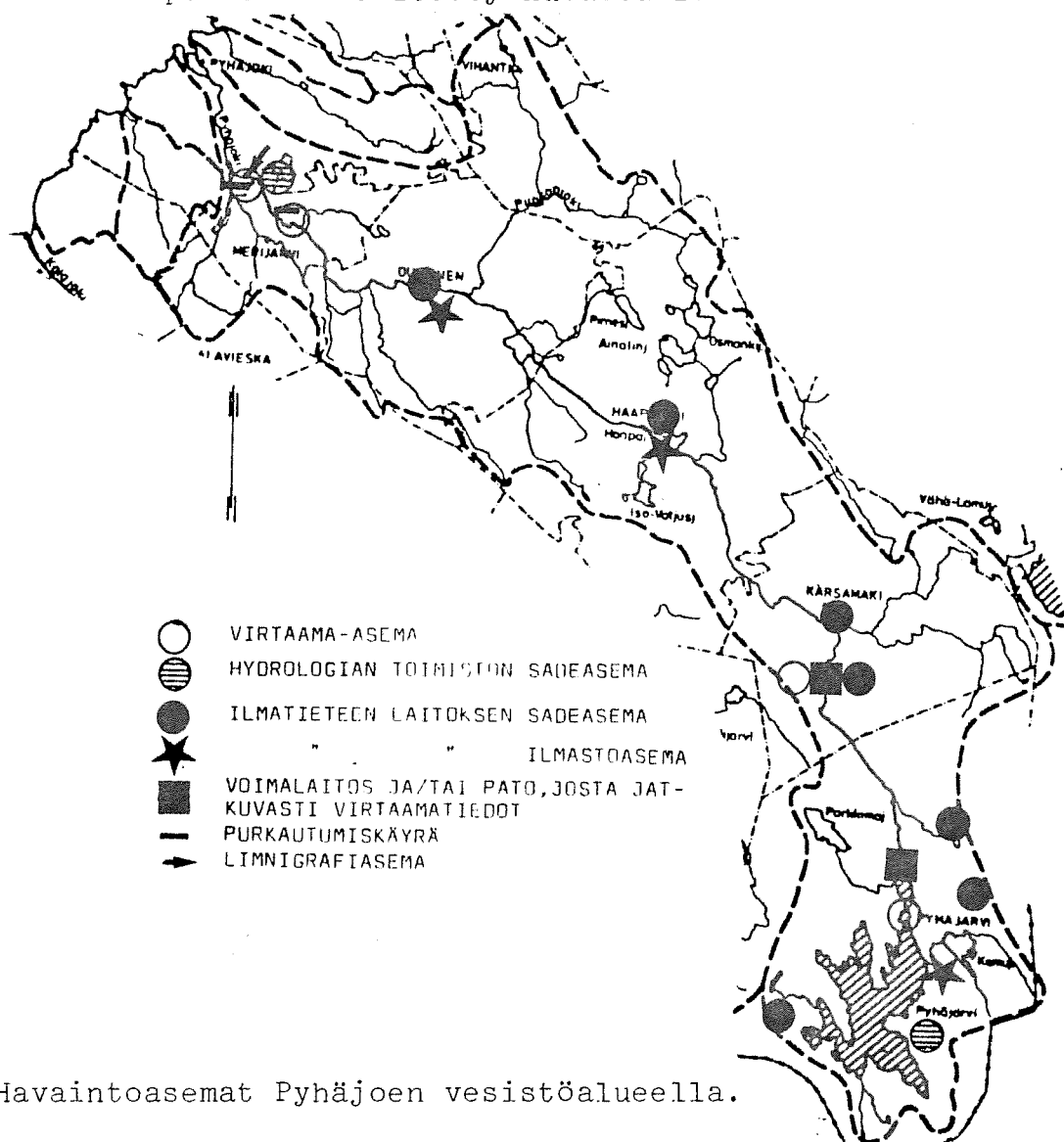


Kuva 1. Pyhäjoen pituusleikkaukset.

Pyhäjoelle on suunniteltu rakennettavaksi Luonuan tekoallas, jonka säännöstelytilavuus olisi 31,5 milj. m³ ja pinta-ala säännöstelyn ylärajalla 7,5 km². Ylärajan korkeus olisi N₄₃+ 102.00 m.

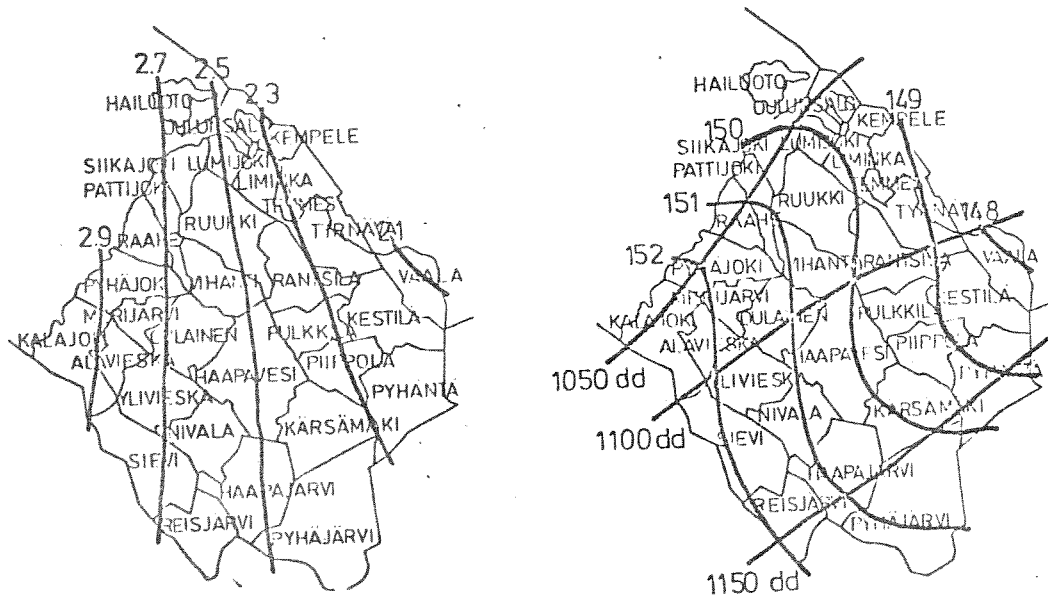
2.3 HYDROLOGISET TIEDOT JA SÄÄNNÖSTELYASTEET

Virtaamatietojen hankkimista varten ovat Hydrologinen toimisto ja vesihallitus suorittaneet Pyhäjoen vesistöalueella hydrologisia havaintoja. Havaintopaikat on esitetty kuvassa 2.

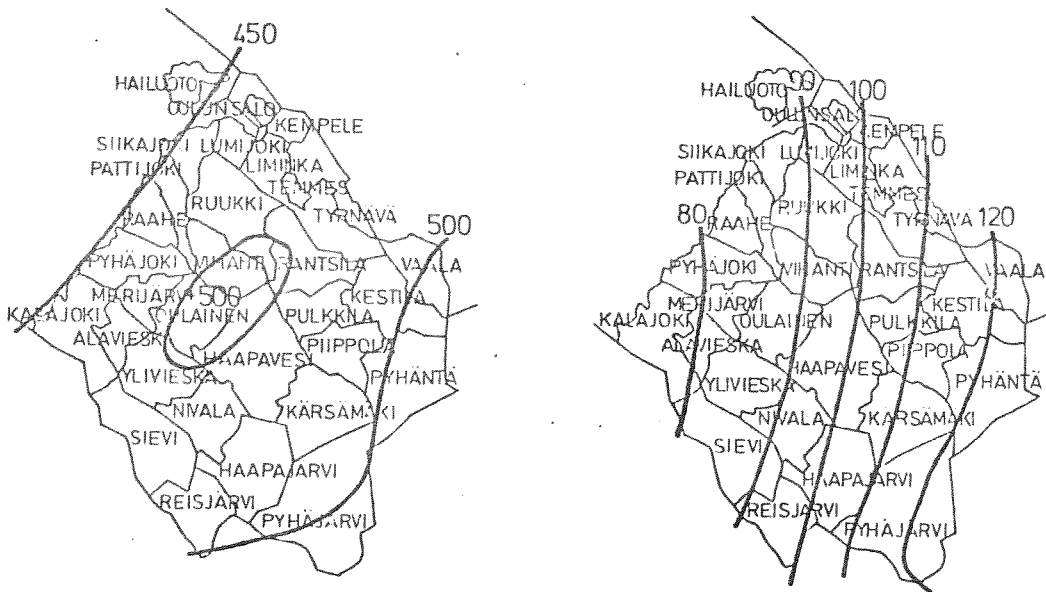


Kuva 2. Havaintoasemat Pyhäjoen vesistöalueella.

Kuvissa 3. ja 4. on esitetty ilmastolliset olosuhteet Pohjanmaan pohjoisosassa.



Kuva 3. Pyhäjoen vesistöalueen keskilämpötila ja termisen kasvukauden pituus 1931 - 60.



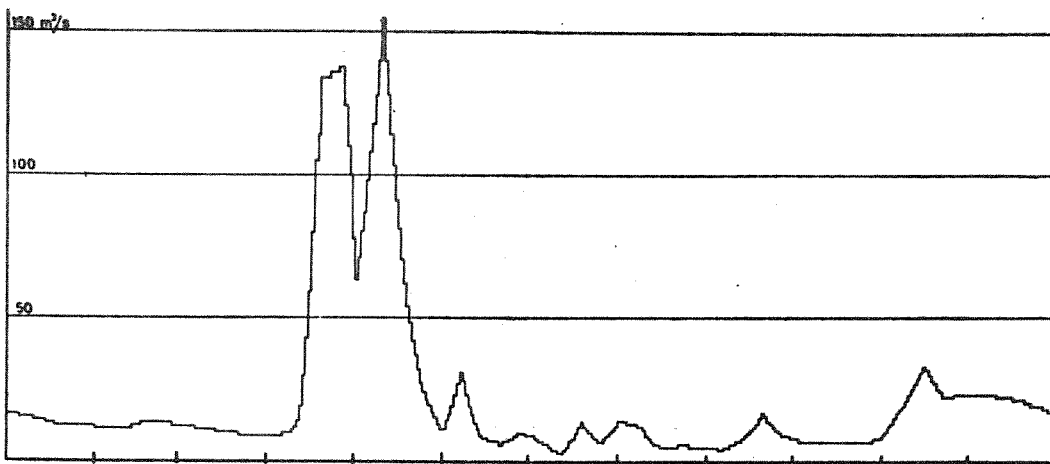
Kuva 4. Pyhäjoen vesistöalueen keskimääräinen sadevesimäärä mm vuodessa (1931 - 60) sekä lumipeitteen vesi-arvo mm 16.3. (1931 - 60).

Pyhäjoen virtaamat on esitetty taulukossa 4 (Hydrologinen vuosikirja 1974 - 1975).

Taulukko 4. Pyhäjoen virtaamat

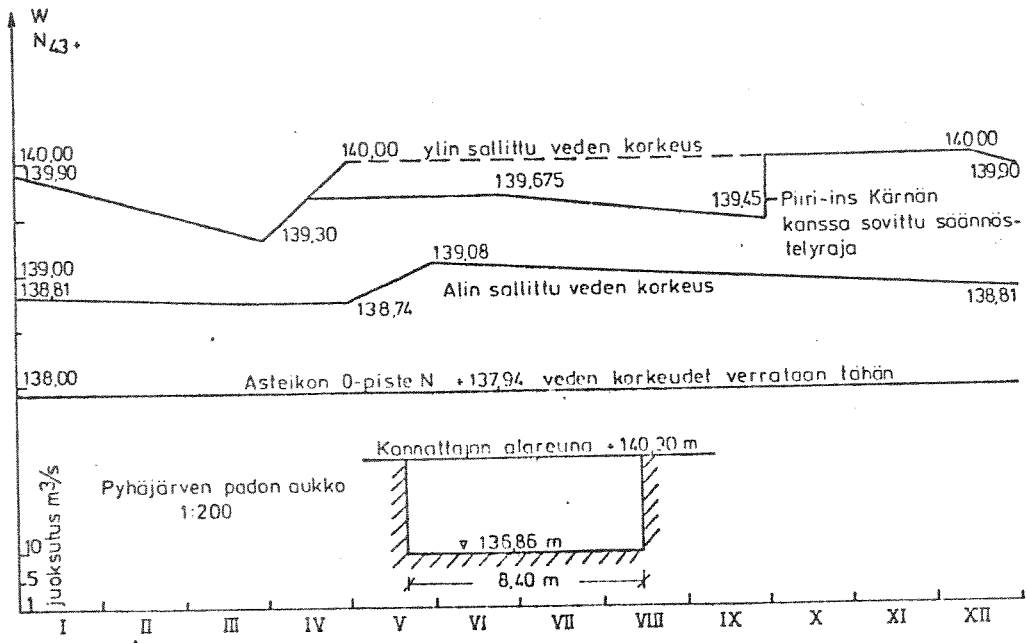
Asteikko	Vuosi	MQ	HQ	MHQ	MNQ	NQ
		m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
Pyhäjärvi	1974	7,3	11,8			0,5
- luusua	1975	6,8	12,0			2,0
Venetpalo	1974	9,7	21			2,0
	1975	8,5	38			1,0
	61 - 70	7,1	42	25	0,7	0,0
Pyhäkoski	1974	40	219			8,9
	1975	29	289			3,2
	66 - 70	28	421	318	3,6	2,7

Kuvassa 5. on esitetty Pyhäjoen suun virtaamat v. 1976.

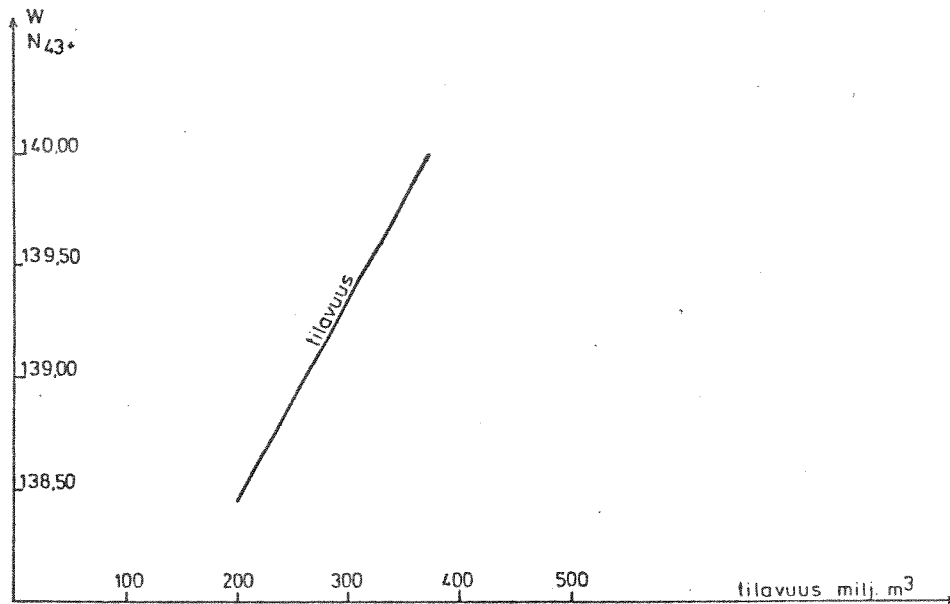


Kuva 5. Pyhäjoen suun virtaama v. 1976.

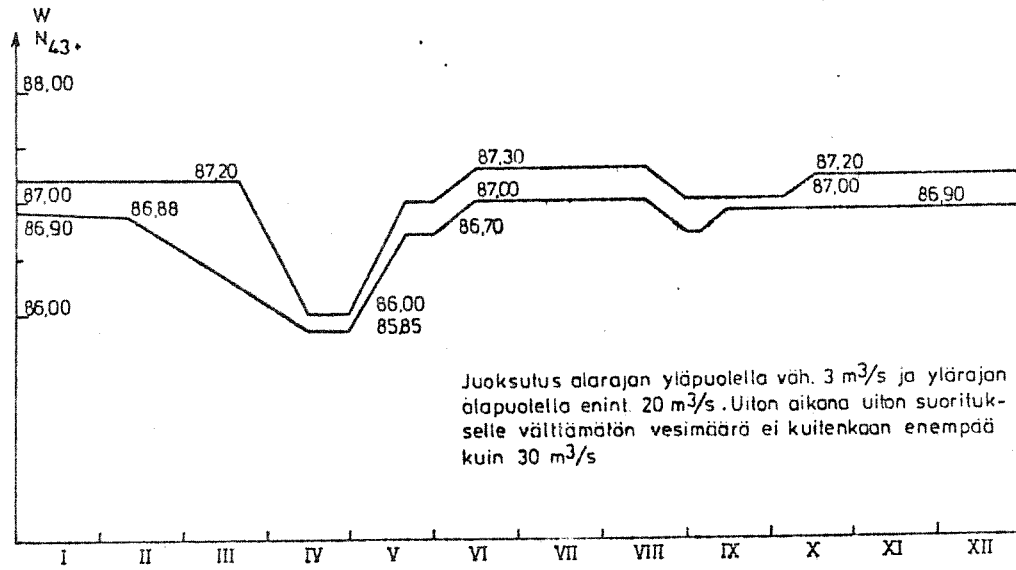
Pyhäjoen keski- ja yläosan vesistöjärjestelyt on toteutettu 1950-luvun lopulla ja 1960-luvun alussa, jolloin suoritettiin Pyhäjärven ja Haapajärven säännöstelyt sekä Kärsämäjoen, Viirelänojan ja Piipsanojan perkaukset. Pyhäjärven säännöstelyn seurauksena rakennettiin Venetpalon ja Vesikosken voimalaitokset. Pyhäjärven säännöstely on esitetty kuvissa 6., 7. ja Haapajärven säännöstely kuvissa 8. ja 9.



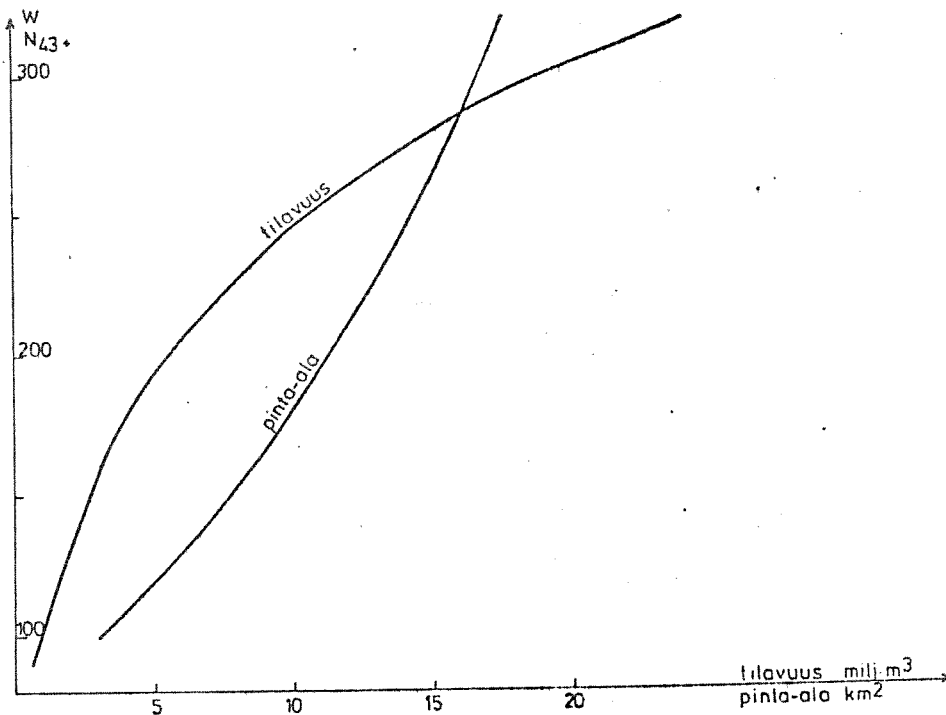
Kuva 6. Pyhäjärven säännöstely.



Kuva 7. Pyhäjärven tilavuuskäyrä.



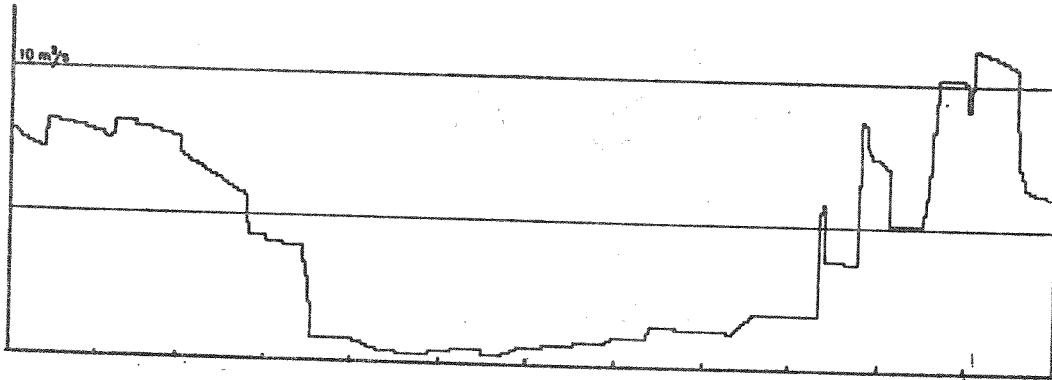
Kuva 8. Haapajärven säännöstely.



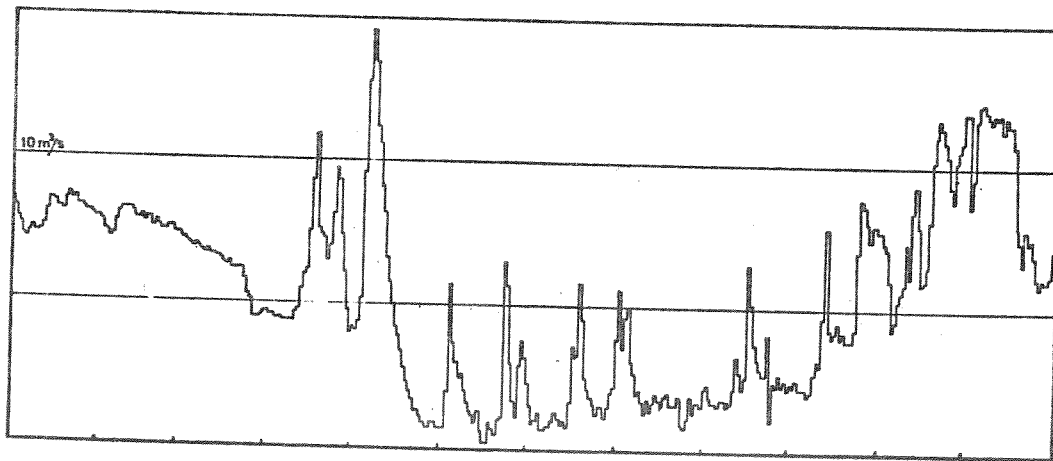
Kuva 9. Haapajärven tilavuuskäyrä.

Pyhäjärven juoksutussäännön mukaisesti juoksutus on aina pidettävä niin suurena, että vesimäärä Pyhäjärven luusuassa ei laske 1,0 m³/s pienemmäksi, lukuunottamatta 40 d:n tulvakautta, eikä Haapajärven luusuassa 3,0 m³/s pienemmäksi. Juoksutussäännölle on merkittävä vaikutus Pyhäjoen virtaamiin. Kuvissa 10. ja 11. on esitetty Pyhäjärven luusuan ja Venetpalon virtaamat v. 1976 ja kuvassa 12. Venetpalon virtaaman

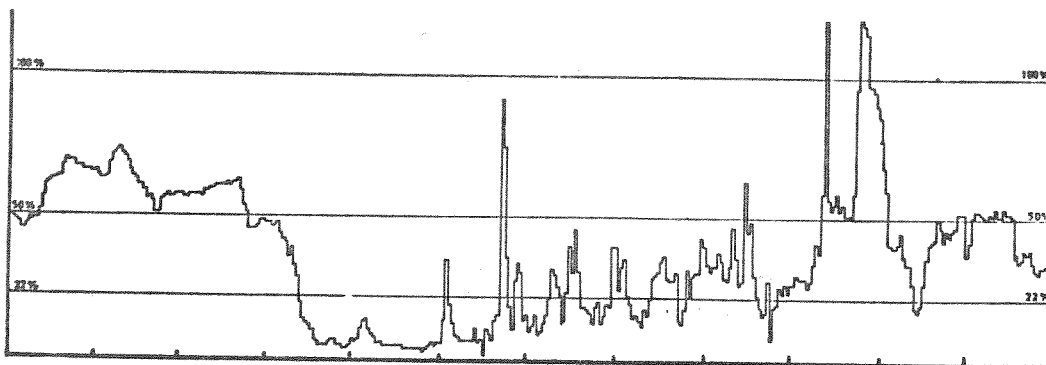
%-osuus Pyhäkosken virtaamasta v. 1976, jossa säännöstelyjuoksutuksen osuus normaaleina alivirtaamakausina nousee huomattavasti yli 50 %.



Kuva 10. Pyhäjärven luusuan virtaama v. 1976.



Kuva 11. Venetpalon virtaama v. 1976.



Kuva 12. Venetpalon virtaaman %-osuus Pyhäkosken virtaamasta v. 1976.

2.4 MUUT TIEDOT

Kulttuurirakenteeseen liittyvien taustatekijöiden, kuten ojituksen, peltoviljelyn, lannoituksen, jne., jaottelu tapahtuu nykyisen käytännön mukaisesti kuitenkin hallinnollisten alueiden eikä vesistöalueen luonnollisten osa-alueiden mukaisesti, joten jo olemassa olevankin materiaalin hyväksikäyttö edellyttäisi huomattavaa modulointia. Kyseistä seikkaa on pidettävä erittäin suurena puutteena, pyrittäessä laskemaan ja arvioimaan vesistöön kohdistuvan hajakuormituksen osuutta ja selittävyyttä.

3. T I E T O A I N E I S T O

3.1 VESIANALYYTTISET TIEDOT

Mallikehitelmän perustana ovat luvanvaraisten toimenpiteiden velvoite-tarkkailuista ja vesihallituksen syväne- ja virtahavaintopaikoista saadut analyysiaineistot. Velvoitetarkkailun puitteissa seurattavia kuormittajia on Pyhäjoen vesistöalueella 12 kpl, joista 8 on taajamakuormittajia ja 4 teollisuuslaitosta, joista yksi (Oulaisten jäähdyttämö) on hyvin pieni. Kuormittajien vesioikeudelliset päätökset ja tarkkailutiheys on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Pyhäjoen kuormittajat ja tarkkailutiheys

Kuormittaja	Vesioikeuden päätös PSVO	Tarkkailutiheys	Tarkk. suorit.	Puhdistamo rak. v.	Liittym. määrät
<u>Taajamakuormittajat:</u>					
- Pyhäsalmi	8/68/I,1976-01-07	4 krt/a	PSV	L, 1968	2 700
- Kärämäki	22/66/I,1966-03-11	2 "	PSV	K + L,1975	800
- Haapavesi	19/75/I,1975-03-27	4 "	MKR	K + L,1975	2 500
- Lampinsaari	VH, 1827/500,1970	2 "	OKLA	L	700
- Vihanti	33/73/I,1973-05-04	2 "	PSV	B + K,1973	2 000
- Oulainen	65/74/I,1974-08-19	6 "	PSV	B + K,1977	4 000

Taulukko 5. jatkuu

Kuormittaja	Vesioikeuden päätös PSVO	Tarkkailu- tiheys	Tarkk. suorit.	Puhdistamo rak. v.	Liittym. määrät
- Oulaisten kunn.koti	ei päätöstä	2 krt/a	PSV	M	50
- Pyhäjoki	VH/ 3219/500,1972	2 "	PSV	B + K, 1974	800
<u>Teollisuuskuormittajat:</u>					
Kaivannaisteollisuus					
- Pyhäsalmen kaivos	35/66/I,1966-03-30	12 "	OKLA	L	-
- Vihannin kaivos	35/64/I,1964-06-06	2 "	OKLA	L	-
Elintarviketeollisuus					
- Osuuskunta Pohjolan Maito, Haapavesi					
- jätevedet	39/75/II,1975-05-09	6 "	PSV	L + K, 1975	-
- lauhdevedet	67/73/II,1973-11-19	2 "	PSV	purkuviemäri	-
- Oulaisten jäähdytt.	27/67/I, 1974-04-27	2 "	PSV	M	-

PSV = Pohjois-Suomen Vesitutkimustoimisto

OKLA = Outokumpu Oy, Kokkolan tehtaitten vesilaboratorio

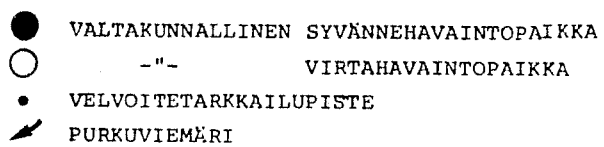
MKR = Suunnittelukeskus

Tarkkailutiheydet noudattavat vesihallituksen yleisiä ohjeita, joskin esim. Vihannin kaivoksen tarkkailutiheys on alhainen.

Velvoitetarkkailussa otetaan vesistönäytteet 26 pisteestä 2 kertaa vuodessa maalis-huhtikuussa ja heinä-elokuussa.

Vesihallituksen seurantaverkostossa on kaksi talvitarkkailupistettä Pyhäjärvässä ja lisäksi Pyhäjärven pääuomassa neljä virtahavaintopaikkaa, joita tarkkaillaan neljä kertaa vuodessa. Kuvassa 13. on esitetty velvoitetarkkailu- ja vesihallituksen virtaama- ja syvännepisteet.

Analyyttisesti havaintojen runko muodostuu yleisistä fysikaaliskemiallisista laatuparametreista. Pyhäsalmen kaivoksen jätevesistä analysoidaan lähinnä metallisia aineita ja eräitä suoloja. Vihannin kaivoksen jätevesianalyysi on luonteeltaan asumajätevesianalyysin kaltainen. Vesistötarkkailussa ei kaivannaisteollisuuden tyypillisimpiä kuormitteita



vän aikana. Ajallisesti edellä mainituista riippumattomina suoritetaan kaivosten ja kahden taajaman kuormitus- ja vesistötarkkailut.

3.2 HYDROLOGISET TIEDOT

Hydrologinen tietoaaines on tällä hetkellä systeemianalyttisesti ajatellen heikko. Pyhäjoen pääuoman vesimäärämittaukset tapahtuvat tällä hetkellä Pyhäjärven luusuassa ja sen alapuolella Venetpalon voimalassa sekä Pyhäjoen suulla.

Säännösteltyjen Pyhäjärven ja Haapajärven säännöstelyohjeita voidaan valvoa vain Pyhäjärvessä. Haapajärven säännöstely tapahtuu säännöstelyohjeesta riippumattomana eikä esim. säännöstelyohjeissa lausuttua Haapajärven ja Pyhäjärven juoksutusten välistä vuorovaikutusta voida kontrolloida.

Sadeasemaverkko sensijaan on jokseenkin kattava. Koko Pyhäjoen vesistöalueella toimii 12 ilmasto- tai sadeasemaa.

Taajama- ja teollisuuskuormittajien vesimäärämittaukset on pääsääntöisesti hyvin hoidettuja. Ainoastaan Pyhäsalmen kunnan ja OK Pohjolan Maidon lauhdevesien määrämittauksia voidaan pitää epätarkkoina.

4. MALLIN MUODOSTAMINEN

Koko malliajattelun perustana ja motiivina on tuottaa systeemistä pelkistetty toimintakaavio, jossa eri muuttujien väliset riippuvuussuhteet on lausuttu funktiomuotoisina. Viimekädessä toimiva malli kuvaa biotistien tapahtumien reaktiot abioottisten muuttujien funktiona. Samalla malli antaa mahdollisuuden testata hallittavissa olevien muuttujien, lähinnä kuormittajien, vaikutuksia systeemissä. Edellä esitetty tavoite on sinänsä vaativa ja useinkin koko systeemin suhteen rajoittunut. Onnistuneimmat tähänastiset mallit rajoittuvat suurempien systeemien

osakokonaisuuksien selvittämiseen tai vain tiettyjen reaktioiden kuvaamiseen.

Tässä selvityksessä tavoitteeksi on asetettu jo olemassaolevan aineiston ja valvontaverkoston soveltuvuuden testaaminen jonkin asteiseen malliin tai ainakin sen selvittämiseen, millä edellytyksellä nykyiset resurssit saataisiin tuottamaan systeemiä kuvaavaa aineistoa. On itsessään selvää, että kokonaisen vesistöalueen käsittely yhtenä mallina on laajamittainen työ, sisältäähän se lukuisten osakokonaisuuksien joukon, jossa esiintyy lukuisa määrä perinteisesti yksittäisinä esitettyjä mallisysteemejä. Lisäksi tämänhetkisestä tietoaineksestä puuttuvat lähes kokonaan ekosysteemimallin vaatimat biotittiset havainnot.

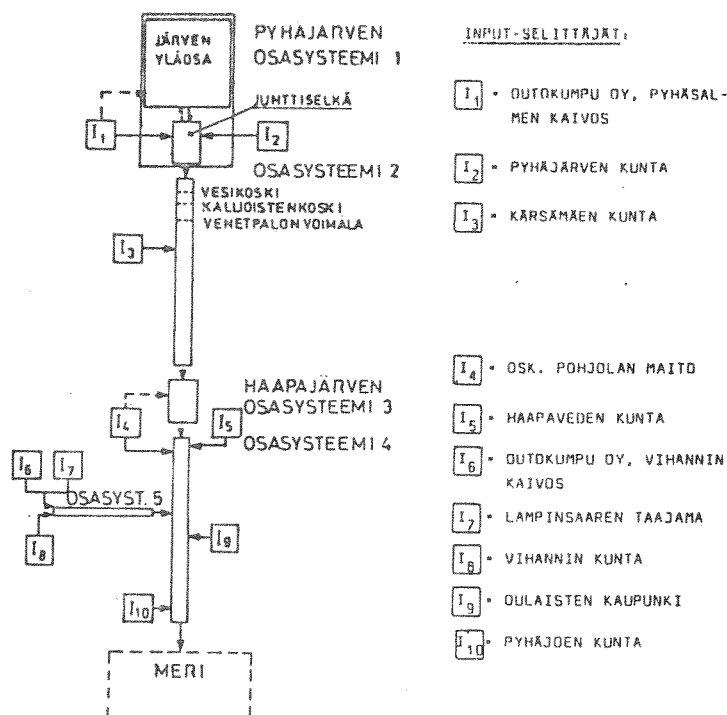
Tietoaisena olemassa olevista rajoituksista on seuraavassa pyritty kuvaamaan niitä peruselementtejä, joiden pohjalle jonkinasteinen systeemikuvaus olisi luotavissa. Esitettävä mallirakennelma kuvaisi toimivana ensisijaisesti Pyhäjoen vesistöalueen aineistaseen muodostumista eikä sinällänsä vielä vesistössä tapahtuvia biologisia, kemiallisia tai mekaanisia muuntumistapahtumia.

Alunperin tehtävän asettelussa lähdettiin liikkeelle vuoden 1976 tietoaististon hyväksikäytöstä, mutta käytännössä esitettävän systeemin tietoaisties on koottu pitempiaikaisesta havaintomateriaalista.

5. PYHÄJOEN VESISTÖALUEEN JAKO ELEMENTTEIHIN

5.1 JAKOPERUSTEET

Pyhäjoen vesistöalue voidaan sekä hydrologian että ekosysteemien suhteen jakaa osaelementteihin. Tässä käytetty jako ei välttämättä ole vielä riittävän pitkällä, ainakaan kehittyneempää mallia ajatellen. Elementtien määräämisen pohjana on ollut hydrologisesti luonnolliset jaksot ja osakokonaisuudet. Systeemikaavio on esitetty kuvassa 14.



Kuva 14. Pyhäjoen vesistöalueen input-kaavio ja inputselittäjät (systemiin tulevat ainevirrat).

5.2 HYDRAULISET ELEMENTIT

Pääuoma on jaettu neljään osasysteemiin. Osasysteemi 1 muodostuu Pyhäjärvestä, joka on tyypillisesti monidimensionaalinen systeemi. Systemin eriyispiirteenä on kevättulvan aikana tapahtuva virtaussuunnan kääntyminen luusuasta päin altaan yläosaan. Pääasiallisena selittäjänä tapahtumalle pidetään järven valuma-alueen muotoa ja säännöstelyä. Voimakkaan kevätvaluman aikana pääosa vesistä tulee järven alaosaan, mutta padotuksen vuoksi dynaaminen paine purkautuu järven yläosaan. Säännöstelyohjeen mukaisesti järven vesitaseen muutokset hallitaan vedenkorkeus- ja luusuan juoksutusmittausten avulla. Osasysteemille 1 on valmistumassa erillinen hydrologinen selvitys, jonka puitteissa selvinnee kääntyneen virtauksen lainalaisuus.

Osasysteemi 2 muodostuu Pyhäjoen pääuomasta Pyhäjärven luusuan ja Haapajärven niskan välillä. Osasysteemin yläosan vesitaseen muutokset hallitaan Pyhäjärven luusuan ja Venetpalon voimalan juoksutusmittauksilla. Systemin alaosan virtaamaa ei mitata. Systeemiä voidaan pitää yksidimensionaalisena.

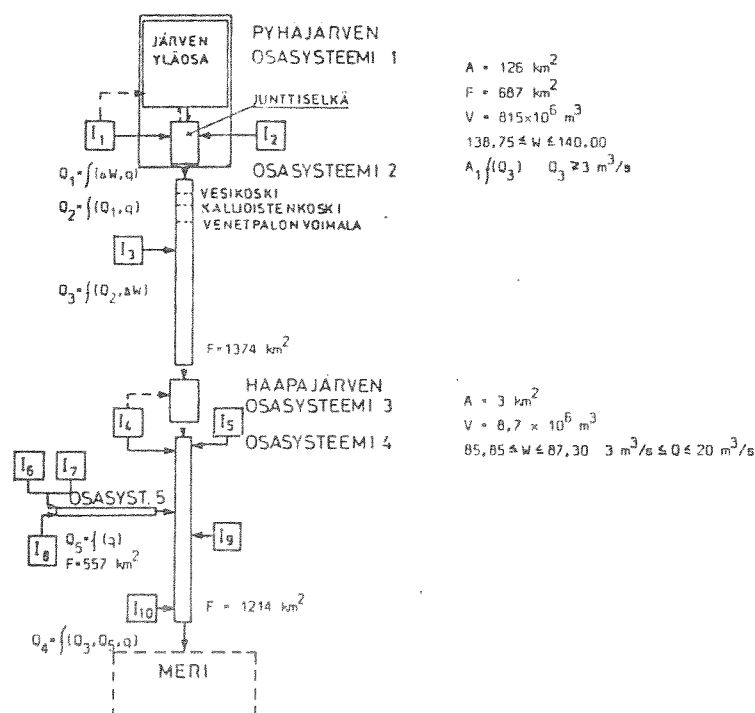
Osasysteemi 3 muodostuu Haapajärvestä. Säännöstelylle on laadittu juoksutusohje, jonka mukaan juoksutus ei saa laskea $< 3 \text{ m}^3/\text{s}$. Minimijuoksutus on turvattava Pyhäjärven juoksutuksella. Juoksutus tapahtuu neulapatojen kautta, eikä juoksutusmäärää voida kontrolloida. Järven vedenkorkeushavaintoja ei säännöllisesti seurata. Vaikka järven tilavuus on suhteellisen pieni, voidaan systeemiä pitää analyysitulosten perusteella monidimensionaalisena.

Osasysteemi 4 muodostuu Pyhäjoen pääuomasta Haapajärven luusuan ja jokisuun välillä. Vesimäärämittaus tapahtuu Pyhäjoen suulla Pyhäkosken asteikolla. Systeemiä voidaan pitää yksidimensionaalisena.

Osasysteemi 5 on rajattu Piipsanjokeen, jonka haaraan Alpuanjokeen johdetaan Vihannin ja Lampinsaaren taajamien ja Vihannin kaivoksen jätevedet. Systeemin vesitasetta ei mitata. Oulun vesipiirillä on tietävästi ollut asteikot sekä Alpuanjoessa että Piipsanjoen suulla. Systeemiä voidaan pitää tässä vaiheessa yksidimensionaalisena input-tekijänä osasysteemiin 4.

Hydraulista systeemikokonaisuutta dominoi selvä latvapainoisuus. Vuositasolla luonnollisena selittäjänä on sadanta, jonka vuosikeskiarvo pääuoman latva-alueella on luokkaa 600 mm ja alaosalla luokkaa 550 mm. Samalla n. 95 % koko vesistöalueen allastilavuudesta muodostuu Pyhäjärvestä. Pyhäjärven säännöstely muodostaa siten koko pääuomaa hallitsevan ajallisen virtaamafaktorin. Kevään ja syksykesän valunta-huippuja lukuunottamatta koko pääuoman virtaama seuraa Pyhäjärven juoksutusta. Kuvissa 5., 10. ja 11. on esitetty v. 1976 virtaamahavainnoista Pyhäjärven luusuasta, Venetpalosta ja Pyhäjoen suulta tilanne on havainnollisesti todettavissa. Kuvassa 12. on esitetty myös latva-alueen (Venetpalon) virtaaman suhteellinen osuus Pyhäjoen suun virtaamasta. Talvisen minimivalunnan aikana latva-alueen virtaam osuus nousee 60 - 70 %:iin Pyhäjoen kokonaisvirtaamasta. Tulva-aikana osuus laskee huomattavasti Pyhäjärven täyttövaiheen aikana. Kesä- ja syksyaikana sadanta ja sitä seuraava nopea pintavalunta muodostavat virtaamarakenteessa stokastisen faktorin, jonka paino vähenee Pyhäjärven juoksutuksen lisääntyessä. Haapajärven säännöstelyn padottava vaikutus on todettavissa Pyhäjärven minimijuoksutuksen aikana, lähinnä kesällä sadeaikana.

Koko tarkasteltavan systeemin vesitaseen malli lienee hallittavissa suhteellisen helposti Pyhäjärven juoksutuksen, sadannan ja alueellisten valuntakertoimien funktiona. Pääuoman osalta Haapajärven vaikeasti kontrolloitava säännöstely Pyhäjärven minimijuoksutuksen aikana on kuitenkin tämänhetkisessä tietoaaineistossa stokastinen tekijä. Mallin vaatimustasona voidaan pitää vesitaseen määrittämistä hydraulisten elementtien rajoilla. Hydrauliset osaelementit on esitetty kuvassa 15.



Kuva 15. Hydrauliset osaelementit

5.3 MASSAVIRTAUKSET ELEMENTEISSÄ

Tämänhetkisen tietoaaineiston puitteissa systeemimallin tavoitteena voidaan pitää systeemin sisäisten aineiden massavirtausten synnyn ja määrsuhteiden kuvaamista. Massavirtausten input-tekijöistä tällä hetkellä hallittavia ovat lähes kaikki taajama- ja teollisuuskuormittajat. Kontrolloimattomia tai vaikeasti kontrolloitavia ovat Pyhäsalmen kaivoksen huuhtoumat Pyhäjärven yläosaan, Pyhäsalmen taajaman ja OK Pohjolan Maidon lauhdevesien massavirrat. Mainittujen input-tekijöiden synnyttämistä massavirtauksista helpoimmin havainnoitavat ovat kaivannaisteolli-

suuden elektrolyyttipitoiset jätevedet, joiden aiheuttama suolaisuuslisäys on suhteellisen inaktiivi vesistössä. Eri suolaisuuskomponenttien havainnointi koko systeemissä on kuitenkin puutteellista, lähinnä jää koko input-aineksen toteaminen sähkönjohtavuusmittauksen vaaraan. Muiden keskitettyjen input-lähteiden massavirtojen havainnointi perustuu lähinnä orgaanisen aineen, ravinteiden ja eri elektrolyyttien analysointiin. Tämän tyyppiset massavirtaukset ovat luonteeltaan aktiivisia, jatkuvien mekaanisten, kemiallisten ja biologisten muutosprosessien alaisia.

Systeemin jokiuomissa massavirtauksia on tyydyttävä tarkastelemaan muuttumattomina ainesirtoina. Sensijaan Pyhä- ja Haapajärven osalta osasysteemien sisäiset reaktiot ovat koko systeemistä tapahtuvia ainesirtoja dominoivia. Näiden sisäisten prosessien hallinta edellyttää pitkälle kehittyneiden systeemimallien luomista, mikä tämänhetkisen tietoaineksen perusteella tuntuu ylivoimaiselta tehtävältä. Pyhäjärven osalta mallikehittelyn tässä vaiheessa kontrolloitavissa oleva prosessi on ainoastaan systeemistä tapahtuva massavirtaus seuraavaan osasysteemiin.

Vastaavasti Haapajärven sisäisten prosessien kuvaaminen rajoittuu systeemin läpi tapahtuvan massavirran muutosten toteamiseen. Havaintoaineiston perusteella Haapajärven tapahtuu kuitenkin voimakkaita sisäisiä prosesseja. Pienestä tilavuudesta huolimatta altaalla on viipymää ja stokastista lauhdevesikuormitusta, siten esim. happitilanne saattaa kesäaikanakin olla heikko. Alusvedessä on ajoittain myös havaittavissa sedimentin mobilisoitumista, joka saattaa vaikuttaa altaasta tapahtuvaan massavirtaukseen.

Muiden kuin edellä mainittujen taajama- ja teollisuus-inputtekijöiden osuus muodostaa kokonaismassavirtauksen jäännöstermin, jolla on lukuisia vaikeasti hallittavia selittäjiä. Jäännöksetöntä kuvausta on tuskin mahdollistakaan muodostaa.

Alhaisesta järvisyydestä vesipintaan suoraan kohdistuva sadekuormitus jää vähäiseksi. Samoin suora jätevesien kontrolloimaton johtaminen haja-asutusalueella. Siten voidaan jäännöstermin ajatella muodostuvan huuhtoumaprosessien tuotteena. Huuhtoumaprosessin selittäjinä tunne-

taan lukuisia faktoreita, joista osa on myös valuma-analyyseissä käytettäviä suureita (maaperä, ojitus, kaltevuus, kasvisto ym.). Osa taas muodostuu huuhtouman mekaanisista ja kemiallisista prosesseista. Koko huuhtoumaprosessin analysointi perustuu pitkälle massavirtaushavaintojen tilastollisten selittäjien löytämiseen tarkasti eroteltavasta faktorijoukosta. Tämänhetkisen tietoaineiston valuma-alueiden mahdolliset muuttujat on pääosaltaan kuvattu hallinnollisin elementein, eivätkä siinä olleita suoraan käyttökelpoisia. Toisaalta tässä esitetyt hydrauliset elementit ovat ehkä liiankin laajoja tilastollisesti selvästi erotettavien muuttujien löytämiseksi. Huuhtoumaprosessin tuloksena syntyvä massavirtaus voidaan systeemissä kuvata kuitenkin yhtenä input-tekijänä, joka saattaa kuitenkin saada lukuisia eri arvoja, sekä ajallisen että alueellisen tarkastelupisteen mukaan. Koko huuhtoumaprosessia voidaan usein tyydyttävällä tarkkudella kuvata valunnan 1. havaitun virtaaman funktiona. Tällainen funktio ei kuitenkaan välttämättä ole jatkuva, vaan sisältää useita tietyillä edellytyksillä toteutuvia epäjatkuvia funktioita.

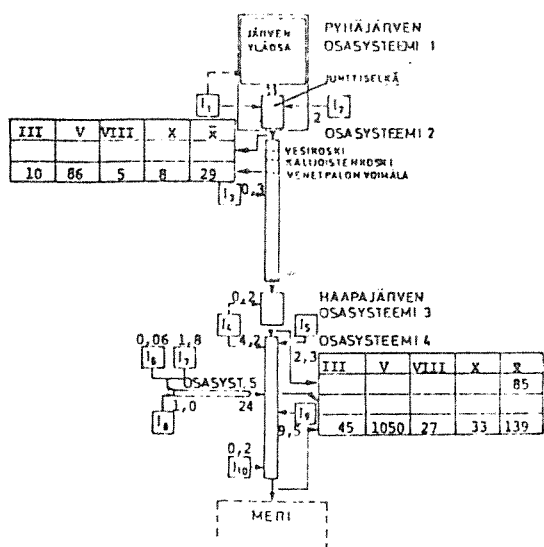
Pyhäjoen vesistöalueen suulla on toteutettu erillisenä tutkimuksena tiheää tulvatarkkailua, jonka tietoaines sisältää mahdollisuuden määrittää erään osa-ajan huuhtoumatapahtumaa. Tulva edustaa osa-aikaa, jossa huuhtouma edustaa vallitsevaa input-tekijää systeemissä muiden elementtien massavirtausten peittyessä. Kyseisen aineiston alustavassa tarkastelussa tulva-ajaiset massavirtaukset toteutuvat virtaaman funktiona toisen tai kolmannen asteen polynomiyhtälöllä.

Muiden osa-aikojen huuhtoumafunktioiden määrittämiseksi tietoaines on suppeahko. Varsinkin kesäaikaiset huuhtoumatapahtumat näyttävät olevan stokastisia. Sateisina jaksoina pintavalunnan vähäinen varastoituminen lisää tuntuvasti huuhtouman aiheuttamaa massavirtausta. Sensijaan staabiilin virtausjakson aikana massavirtaus näyttää noudattavan lähes suoraviivaista ensimmäisen asteen yhtälöä virtaaman suhteen. Tällöinhän yleensä koko systeemiä hallitseva vesimassa tulee systeemin yläosasta. Käytössä oleva tietoaines ei nykyisellään anna edellytyksiä ulottaa huuhtoumaelementin tarkemman esittelyn ulottamista osasysteemitasolle. Varsinkin virtaaman suhteen epävakaisina aikoina muutaman päivän aika-
viiveellä otetut näytteet systeemin eri osista muodostavat systeemi-analyttisesti vaikeasti käsiteltävän aineiston.

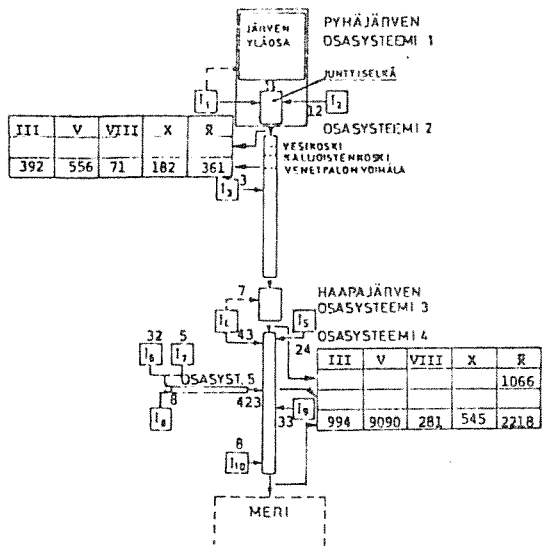
6. PYHÄJOEN MASSAVIRTAUSKAAVION
HAHMOTTELU

Käytössä oleva tietoaaines ei sellaisenaan ilmeisestikään pysty tuot-
tamaan alussa hahmotellulle systeemikokonaisuudelle tyydyttävää mal-
lia. Jonkinlainen karkea kuva systeemistä on jo kuitenkin luotavissa
olemassa olevan aineiston perusteella. Massavirtaukset on laskettu
muutamalle laatuparametrille, joista rautaa ja humusta voidaan pitää
tyypillisinä huuhtomassasuureina, fosforia, typpeä ja BHT₇ sekä huuhtouma-
ja teollisuuselementtejä kuvaavina. Keskimääräiset massavirtaukset
(\bar{x}) hydraulisissa osaelementeissä on laskettu pitkäaikaisten havain-
tojen ajallisesti ryhmitetyistä analyysituloksista ja vastaavan jak-
son pitkäaikaisista virtaamahavainnoista. Hetkelliset massavirtaamat
on esitetty vuoden 1976 havainnoista laskettuina ja painotus on suo-
ritettu havaintokaudelle.

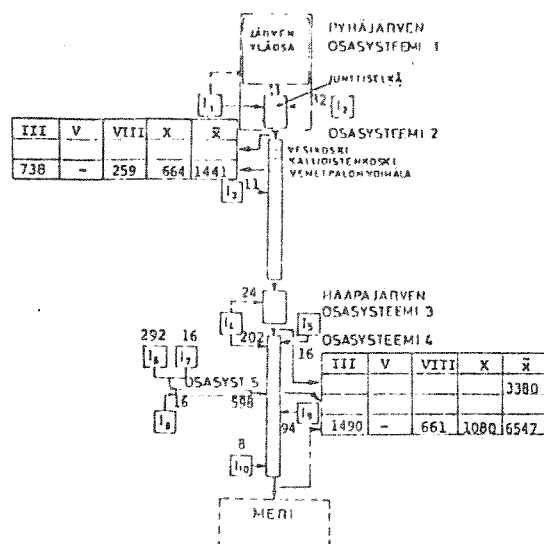
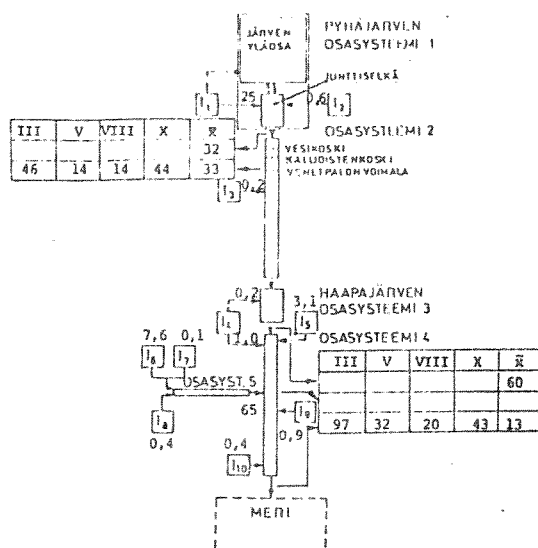
Laskentapisteinä ovat olleet pääuomassa lähinnä Venetpalon virtaama- ja havainnointipiste, Pyhänkosken vastaava piste ja Haapajärven luusu- an havainnointipiste, jonka virtaama on arvioitu Pyhänkosken virtaa- mista. Piipsanjoen vesimäärät on arvioitu valumahavainnoista. Muut inputsuureet on kerätty kuormitustarkkailutuloksista. Saadut massa- virtauskaaviot on esitetty kuvissa 16. - 21.



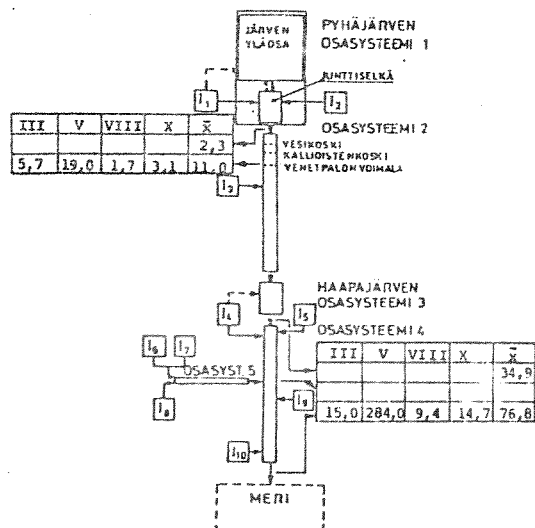
Kuva 16. Kok. P kg/d v. 1976



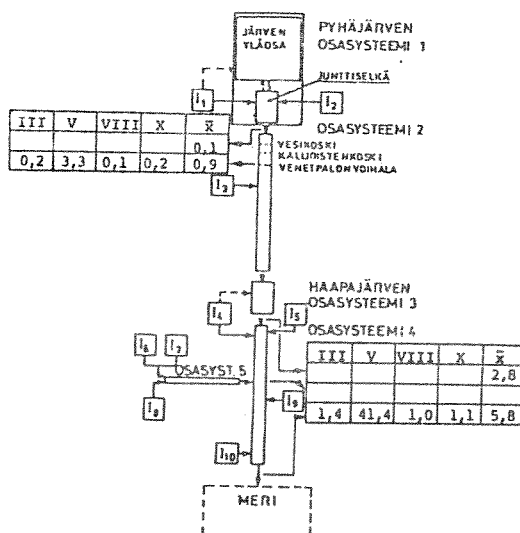
Kuva 17. Kok. N kg/d v. 1976.

Kuva 18. BHT₇ kg/d v. 1976

Kuva 19. Elektrolyytit t/d v. 1976



Kuva 20. Humus t/d v. 1976



Kuva 21. Kok.Fe t/d v. 1976

Tuloksista voidaan havaita, että keskimääräiset massavirtaamat (\bar{x}) eroavat oleellisesti hetkellisistä massavirtaamista. Viimeksimainitut antavat paremman kuvan input-tekijöiden ja massavirtaaman vuorovaikutussuhteesta, koska kevättulvan erittäin korkeat massavirtaamat muodostavat tekijän, jonka osuus vuositason lasketussa massavirtaamassa tulee niin suureksi, että informaatio muiden virtaamakausten massavirtaamisesta peittyy tämän alle. Lopullisessa mallihahmottelussa pääpaino tulee olemaan input-tekijöiden ja hetkellisten massavirtaamien vuorovaikutussuhteessa muulloin kuin kevätylivaluman aikana.

7. SYSTEMIMALLIN SELVITTÄMIS - EDELLYTYKSET

Esitetyt massavirtauskaaviot edustanevat likimain sitä tarkkuutta, jolla nykyinen tietoaimes voidaan esittää. Mallin edelleenkehittäminen voidaan esittää kaksijakoisena. Ensimmäinen edellytys on arvioida haluttava tarkkuustaso. Periaatteessa nykyisen tietoverkoston muokkauksella on jo olemassa osa tarvittavasta aineistosta sellaisen systeemimallin luomiseksi, jolla massavirtaukset voidaan kuvata ja osittaa haluttuna ajankohtana ainakin tietyissä osasysteemeissä.

Lähinnä Pyhäjärven altaan sisäisten tapahtumien osalta mallikehittelmä muodostunee vaikeimmaksi. Muun systeemin osalta esitetyn kaltaisen mallin tuottaminen sisältää toisena vaiheena tietoverkoston sopeuttamisen mallin tarpeisiin.

Oleellisina vaatimuksina voidaan pitää riittävien virtaamahavaintojen tekemisen Haapajärven luusuasta ja siihen liittyen myös pinnan korkeushavainnoinnin itse järvessä. Periaatteessa tämä sisältyy jo säännöstelyohjeeseen. Systeemin kannalta toinen virtaamamittauskohde on Piipsanjoen suu ennen liittymää Pyhäjokeen.

Alueelliselta peittävyydeltään nykyistä verkostoa voidaan pitää suhteellisen hyvänä. Lähinnä merkittävin puute on havaintojen vähäisyys Haapajärven niskassa ja järveen tulevan lauhdevesikuormituksen heikko kontrolli.

Varsinaisen velvoitetarkkailun ajallinen kattavuus on heikko ja on ajateltavissa kerrallisten resurssien jakaminen ajallisesti edustavammaksi. Tämä edellyttäisi kuitenkin luopumista velvoitetarkkailun pääsääntöisestä käytännöstä jokaisen purkupaikan ylä- ja alapuolelta havainnoinnista. Samalla ajalliseen koordinaatioon voidaan ulottaa myös varsinainen näytteiden keräys. Vesistönäytteiden oton ajallinen viive ei saa olla suuri ja eri suorittajien välillä olisi päästävä samanaikaiseen suoritukseen.

Tietoaimeiston sisältöresurssit ovat perinteisesti laajat, oleellisia puutteina ovat kuitenkin eräiden omaleimaisten parametrien puutteellinen havainnointi vesistössä tai tietyn kuormituslähteen vää-

luonteinen analysointi. Lähinnä kyseeseen tulevat eräät kaivannaisteollisuuden oleelliset kuormitteet.

8. MALLIN KÄYTTÖMAHDOLLISUUDET

Esitettyä malliehdotusta voidaan pitää luonteeltaan informatiivisena. Tuotettavien massavirtaustietojen hyödyntäminen palvelee sellaisenaan lähinnä erilaisten input-komponenttien määräsuhteisia arviointeja ja ehkä puhtaasti kemiallisiin pitoisuuksiin perustuvien vaateiden tai tavoitteiden asettelua.

Samalla malli luo kuitenkin pohjan lähestyä dynaamista systeemikokonaisuutta, joka input-output-tietojen ohella kuvaa osasysteemien sisäisiä muutoksia ja niiden ilmentymänä myös systeemin bioottisia tapahtumia.

Kyseisellä mallikehitelmällä voidaan myös periaatteessa laskea Luonuan altaan vaikutukset alapuolisen vesistön laatuun, mikäli säännöstelyaste ja juoksutusmäärät kuukausittain on tarkasti tiedossa.

9. TUTKIMUSTULOSTEN TIEDOTTAMINEN

Tutkimustulosten tiedottaminen ei ole ollut riittävän laajapohjaista. Tähän seikkaan on Oulun vesipiirin vesitoimistossa kiinnitetty erityistä huomiota. Viime vuosina on yleistynyt käytäntö, jossa Oulun vesien-suojeluyhdistys on ollut kokoonkutsujana ja edellisen vuoden velvoite-tarkkailutulokset on julkistettu vesistöalueittain. Samassa yhteydessä on esitelty vesiviranomaisten taholta kyseiseen vesistöalueeseen liittyvien hankkeiden nykytilaa ja toteutusaikataulua.

HYDROLOGIAN TOIMISTO		PURKAUTUMISKÄYRÄ N:o 000000 F= 0 KM2 L= 0,0 %					MITTAUSPAIKKA KOORDINAATIT			PYHÄJÄRVI, PÄTÖ 00.00N 00.00E			AST.	54 60
PV KUUK. HUOM.	TAMMI 50	HELMI 50	MAALIS 50	HUHTI 50	TOUKO 50	KESÄ 50	HEINÄ 50	ELO 50	SYYS 50	LOKA 50	MARRAS 50	JOULU 50		
1	7.8	7.8	7.1	4.1	0.8	0.4	0.4	1.0	1.3	1.9	7.3	9.1		
2	7.8	7.7	7.0	4.1	0.7	0.4	0.6	1.0	1.3	1.9	7.2	9.9		
3	7.7	7.6	7.0	4.1	0.7	0.4	0.6	1.0	1.3	1.9	7.1	11.2		
4	7.6	7.6	6.9	4.1	0.7	0.4	0.6	1.0	1.3	1.9	5.1	11.2		
5	7.5	7.7	6.8	4.1	0.6	0.5	0.6	1.0	1.3	1.9	5.1	11.1		
6	7.5	8.1	6.8	4.1	0.6	0.5	0.6	1.0	1.3	1.9	5.1	11.1		
7	7.4	8.1	6.7	4.1	0.5	0.5	0.7	1.0	1.3	1.9	5.1	11.1		
8	7.4	8.1	6.7	4.0	0.5	0.5	0.7	1.0	1.3	1.9	5.1	11.0		
9	7.3	8.1	6.6	4.0	0.5	0.5	0.7	1.0	1.2	1.9	5.1	11.0		
10	7.3	8.1	6.5	4.0	0.4	0.5	0.7	1.0	1.2	1.9	5.1	11.0		
11	7.2	8.1	6.5	4.0	0.4	0.5	0.7	1.0	1.3	5.5	5.1	10.9		
12	7.2	8.1	6.4	4.0	0.4	0.5	0.7	1.0	1.4	5.8	5.1	10.9		
13	7.8	8.1	6.4	4.0	0.4	0.5	0.7	1.2	1.5	3.8	5.1	10.8		
14	8.2	8.0	6.3	4.0	0.4	0.5	0.7	1.4	1.6	3.8	5.1	10.8		
15	8.2	8.0	6.3	3.4	0.4	0.5	0.7	1.4	1.7	3.8	5.1	10.7		
16	8.2	8.0	6.2	2.9	0.4	0.3	0.7	1.4	1.7	3.8	5.5	10.7		
17	8.2	8.0	6.1	2.0	0.3	0.3	0.7	1.4	1.8	3.8	6.0	10.6		
18	8.1	8.0	6.0	0.8	0.3	0.3	0.8	1.4	1.9	3.8	6.9	8.5		
19	8.1	8.0	6.0	0.8	0.3	0.3	0.8	1.4	1.9	3.8	8.4	7.1		
20	8.1	7.9	5.9	0.8	0.3	0.3	0.8	1.4	1.9	3.7	9.4	6.8		
21	8.1	7.9	5.9	0.8	0.3	0.3	0.8	1.4	1.9	3.7	10.2	6.4		
22	8.1	7.9	5.8	0.8	0.3	0.3	0.8	1.4	1.9	3.7	10.2	6.4		
23	8.0	7.8	5.8	0.8	0.3	0.4	0.8	1.3	1.9	3.7	10.2	6.3		
24	8.0	7.8	5.2	0.8	0.3	0.4	0.8	1.3	1.9	6.5	10.2	6.3		
25	8.0	7.8	4.7	0.8	0.3	0.4	0.8	1.3	1.9	6.7	10.2	6.2		
26	8.0	7.8	4.3	0.8	0.3	0.5	0.8	1.3	1.9	8.6	10.2	6.2		
27	7.9	7.7	4.3	0.8	0.3	0.5	0.8	1.3	1.9	7.8	10.2	6.2		
28	7.9	7.7	4.3	0.8	0.4	0.6	0.8	1.3	1.9	7.6	10.2	6.2		
29	7.9	7.7	4.3	0.8	0.4	0.6	0.9	1.3	1.9	7.4	10.2	6.1		
30	7.8		4.3	0.8	0.4	0.6	0.9	1.3	1.9	7.4	10.1	6.1		
31	7.8		4.3		0.4		1.0	1.3		7.4		6.1		
KESKIARVO	7.8	7.9	5.9	2.5	0.4	0.4	0.7	1.2	1.6	4.3	7.4	8.8	M3/5	
VALUMA R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	L/SKM2	
HQ	11.2	HR	0.0	JAKSO	0000-00	HQ	0	HR	0	SUMMA	1493.5	1976	Q	
HQ	4.08	HR	0.00			HQ	0	HR	0	JÄÄTYMINEN	0.00	0.00	54	
HQ	0.3	NR	0.0			HQ	0	NR	0	JÄÄNLÄHTÖ	0.00	0.00	60	

HYDROLOGIAN TOIMISTO		PURKAUTUMISKÄYRÄ N:o 000000 F= 855 KM2 L=16,7 %					MITTAUSPAIKKA KOORDINAATIT			VENETPALO 00.00N 00.00E			VL	54 150
PV KUUK. HUOM.	TAMMI 50	HELMI 50	MAALIS 50	HUHTI 50	TOUKO 50	KESÄ 50	HEINÄ 50	ELO 50	SYYS 50	LOKA 50	MARRAS 50	JOULU 50		
1	8.5	7.8	7.2	4.6	4.1	0.7	1.5	5.6	2.3	2.3	7.3	8.6		
2	8.2	7.5	7.2	4.6	4.4	2.0	0.9	3.6	1.9	2.5	7.1	9.6		
3	7.8	7.4	7.1	4.5	5.2	5.7	1.0	4.6	1.7	2.2	6.0	11.7		
4	7.6	7.2	7.0	4.5	9.6	3.7	1.3	5.9	1.7	2.2	4.3	12.2		
5	7.2	7.3	6.9	4.5	12.8	3.0	0.7	3.1	1.6	2.2	4.6	12.3		
6	7.1	7.8	7.0	4.4	14.6	2.5	0.7	2.7	1.8	2.0	5.3	12.0		
7	7.3	8.1	6.9	4.4	13.4	2.6	0.8	2.0	1.8	2.1	5.6	11.8		
8	7.5	8.2	6.8	4.4	11.2	2.0	0.8	2.1	1.6	2.7	5.9	11.6		
9	7.3	8.2	6.7	4.4	10.6	1.6	1.0	1.7	1.7	3.2	7.3	11.9		
10	7.3	8.2	6.8	4.7	9.1	1.3	1.3	1.3	2.2	3.0	6.1	11.8		
11	7.4	8.2	6.7	4.8	8.2	1.2	1.1	1.8	3.3	4.7	8.4	11.9		
12	7.6	8.1	6.7	5.5	6.6	0.9	0.9	1.4	2.8	7.8	9.3	11.3		
13	8.1	7.9	6.6	6.0	5.8	1.3	1.0	1.7	2.2	4.3	7.9	11.3		
14	8.5	7.9	6.6	6.2	5.0	0.6	0.8	2.0	2.6	4.0	5.9	11.8		
15	8.5	8.0	6.5	7.5	4.2	0.0	1.7	1.8	6.5	4.2	6.0	11.5		
16	8.4	7.8	6.4	9.3	3.9	0.2	3.6	1.6	5.1	4.5	6.5	11.5		
17	8.2	7.9	6.3	10.9	3.4	0.9	3.3	1.9	3.7	4.0	8.1	10.8		
18	8.2	7.9	6.4	7.6	2.8	0.7	5.8	2.0	3.2	4.2	10.2	7.9		
19	8.1	7.6	6.2	7.4	2.3	0.5	4.5	1.6	2.9	3.9	11.1	7.4		
20	8.5	7.8	6.2	7.3	2.0	1.0	2.5	1.6	2.7	3.9	11.7	6.6		
21	8.7	7.6	6.2	6.5	1.7	1.1	2.1	1.6	2.7	3.9	11.4	7.8		
22	8.5	7.5	6.2	7.0	1.3	6.5	1.8	1.9	4.1	4.3	10.9	7.4		
23	8.6	7.5	5.8	8.1	1.3	5.7	1.6	0.9	1.1	7.0	10.4	7.5		
24	8.3	7.6	5.3	9.7	1.1	3.0	1.2	0.8	2.4	8.8	9.3	6.9		
25	8.3	7.6	5.1	9.3	0.9	1.7	1.5	1.1	2.3	8.6	8.8	6.1		
26	8.2	7.6	4.5	7.4	0.7	1.1	1.5	1.9	2.7	8.0	10.2	5.8		
27	8.1	7.4	4.5	6.1	0.7	2.9	1.1	1.3	2.3	7.4	10.6	6.1		
28	8.1	7.3	4.5	4.8	0.9	3.8	1.5	1.7	2.5	7.9	10.9	6.0		
29	8.0	7.4	4.6	4.0	0.9	3.2	2.0	1.7	2.2	7.9	11.9	6.0		
30	7.9		4.7	4.2	0.7	2.3	2.2	1.6	2.4	7.7	11.9	6.2		
31	7.9		4.7		0.7		3.9	2.2		7.7		6.6		
KESKIARVO	8.0	7.7	6.1	6.2	4.8	2.1	1.8	2.1	2.6	4.8	8.4	9.3	M3/5	
VALUMA R	9.4	9.0	7.1	7.3	5.6	2.5	2.1	2.5	3.0	5.6	9.8	10.9	L/SKM2	
HQ	14.6	HR	17.1	JAKSO	0000-00	HQ	0	HR	0	SUMMA	1948.1	1976	Q	
HQ	5.32	HR	6.22			HQ	0	HR	0	JÄÄTYMINEN	0.00	0.00	54	
HQ	0.0	NR	0.0			HQ	0	NR	0	JÄÄNLÄHTÖ	0.00	0.00	150	

HYDROLOGIAN TOIMISTO		PURKAUTUMISKÄYRÄ N:O 037202 F= 3400 KM2 L= 5,5 %					MITTAUSPAIKKA KOORDINAATIT		PYHÄNKOSKI 64.21N 24.25E		AST. 54 400	
PV KUUK. HUOH.	TAMMI 08	HELMI 08	MAALIS 08	HUHTI 08	TOUKO 67	KESÄ 67	HEINÄ 67	ELO 67	SYYS 67	LOKA 67	MARRAS 67	JOULU 08
1	16.9	11.9	12.7	9.5	63.0	11.7	9.6	14.1	5.8	8.6	9.3	23.0
2	16.6	11.8	12.5	9.5	71.0	14.1	9.3	14.1	5.6	8.3	10.5	23.0
3	16.4	11.7	12.4	9.5	80.0	16.5	8.6	14.1	5.4	7.9	12.1	23.0
4	16.1	11.5	12.2	9.5	87.0	19.5	7.9	13.7	5.1	7.6	13.7	23.0
5	16.0	11.4	12.0	9.4	98.0	23.0	7.6	13.7	4.9	7.6	15.5	23.0
6	15.9	11.3	12.0	10.0	108.0	27.0	6.8	13.3	4.7	7.6	17.5	23.0
7	15.6	11.3	11.9	10.6	118.0	31.0	6.1	13.3	5.1	7.6	18.5	23.0
8	15.4	11.2	11.8	10.8	128.0	27.0	5.1	12.9	5.6	7.9	19.3	23.0
9	15.1	11.3	11.7	11.0	140.0	23.0	4.5	12.5	6.1	7.9	21.0	23.0
10	15.0	11.4	11.5	12.0	155.0	19.5	4.1	11.3	6.6	7.9	23.0	23.0
11	14.8	11.5	11.3	14.5	140.0	16.5	3.7	9.9	7.0	7.9	25.0	22.0
12	14.5	11.7	11.1	19.0	128.0	13.7	3.4	8.9	7.6	7.6	27.0	22.0
13	14.3	11.9	11.0	30.0	114.0	11.7	4.3	7.9	8.3	7.6	29.3	22.0
14	14.0	12.3	10.9	43.0	103.0	9.3	5.6	6.8	9.3	7.6	31.0	22.0
15	13.8	12.7	10.7	59.0	91.0	8.9	7.0	6.1	10.2	7.6	33.0	22.0
16	13.4	12.8	10.5	80.0	81.0	8.6	8.9	5.1	11.3	7.6	32.0	22.0
17	13.0	13.0	10.4	105.0	70.0	7.9	10.5	5.4	12.5	7.6	30.0	21.0
18	12.8	13.3	10.3	114.0	62.0	7.6	12.5	5.4	13.7	7.6	28.0	21.0
19	12.7	13.5	10.2	134.0	54.0	7.3	14.5	5.6	15.0	7.6	27.0	21.0
20	12.5	13.8	10.0	134.0	48.0	7.0	12.9	5.8	17.0	7.6	25.0	21.0
21	12.4	13.8	10.0	134.0	42.0	6.6	11.3	5.8	16.0	7.6	24.0	20.0
22	12.4	13.8	9.9	136.0	37.0	7.0	10.2	6.1	14.5	7.3	22.0	20.0
23	12.4	13.7	9.9	136.0	32.0	7.6	9.6	6.3	13.7	7.3	22.0	19.8
24	12.3	13.5	9.8	136.0	27.0	8.3	8.9	6.1	12.5	7.3	22.0	19.6
25	12.3	13.4	9.8	138.0	24.0	8.9	7.9	6.1	11.7	7.0	22.0	19.2
26	12.3	13.2	9.8	138.0	21.0	9.6	7.3	5.8	10.5	7.3	23.0	19.0
27	12.3	13.0	9.8	124.0	19.0	10.2	8.3	5.6	9.6	7.6	23.0	18.7
28	12.2	12.9	9.8	110.0	17.0	10.9	9.3	5.6	9.3	7.9	23.0	18.2
29	12.2	12.8	9.7	100.0	15.0	10.2	10.2	5.4	9.3	8.3	23.0	17.9
30	12.1		9.6	78.0	13.3	9.3	11.7	5.1	8.9	8.6	23.0	17.6
31	12.1		9.6		11.7		12.9	5.1		8.9		17.1
KESKIAARVO	13.9	12.5	10.8	68.8	70.9	13.3	8.4	8.5	9.4	7.8	22.5	21.1 M3/S
VALUMA R	4.1	3.7	3.2	20.2	20.9	3.9	2.5	2.5	2.8	2.3	6.6	6.2 L/S*KM2
HQ 155.0	HR 45.6	JAKSO	0000-00	HQ	0	HR	0		SUMMA	8170.0		1976 Q
HQ 22.26	HR 6.55			HQ	0	HR	0		JÄÄYMINEN	0.00	0.00	54
HQ 3.4	HR 1.0			HQ	0	HR	0		JÄÄNLÄHTÖ	0.00	0.00	400